



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E SOLOS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA / PRODUÇÃO VEGETAL**

**MARISTELLA MOURA CALAÇO PESSOA**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO EM  
DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE**

**TERESINA – PI**

**2016**

**MARISTELLA MOURA CALAÇO PESSOA**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO EM  
DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como requisito final para obtenção do título de mestre em agronomia.  
Área de concentração: Produção Vegetal

**Orientador**

**Prof.Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes**

**TERESINA – PI**

**2016**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processamento Técnico

**P475a** Pessoa, Maristella Moura Calaço

Atributos físicos e biológicos de um latossolo amarelo em diferentes monoculturas no cerrado piauiense / Maristella Moura Calaço Pessoa - 2016.

80f.: il.

Dissertação ( Mestrado em Agronomia ) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015

Orientação: Prof.Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

1 . Solo- Compactação 2. Carbono da biomassa microbiana  
3. Sazonalidade I.Título

**CDD 631.4**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO EM  
DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE**

**MARISTELLA MOURA CALAÇO PESSOA**

Engenheira Agrônoma

Aprovada em 11 / 07 / 2016

Comissão Julgadora:

Luis Alfredo Nunes

Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – Presidente  
CCA/UFPI

Ari Cavalcante Salviano

Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano – Titular  
CCA/UFPI

Valdinar Bezerra dos Santos

Prof. Dr. Valdinar Bezerra dos Santos – Titular  
UESPI

Aos meus pais, Maria Dioneide e Armando,  
minha irmã Marielle e minha sobrinha Sofia.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, oportunidades concedidas e pela força e sabedoria para percorrer todo esse caminho.

Aos meus pais, Armando Alves Pessoa e Maria Dioneide Moura Calaço, pelo amor, pelo apoio constante e por estarem presentes em todos os momentos.

A toda minha família pelo apoio e incentivo.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós - Graduação em Agronomia (PPGA) pela oportunidade da realização do mestrado.

A todos os professores do PPGA pelo conhecimento adquirido.

Ao meu orientador Prof. . Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes pela orientação, amizade e oportunidades de crescimento.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora, Profs. . Valdinar Bezerra e Adeodato Ari\_ por participarem da banca e pelas críticas e sugestões, fundamentais para a melhoria deste trabalho.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Análise de Solos (LASO): Sandra Mara, Vilma Maria, Rafael, Diego, Teddy Arrais, Nilvânia e Hélio (*in memorian*), meu muito obrigado!

A Myria Grazielle, Jayara, Tiago Ibiapina, Carlos Humberto, Vitor, Jorge, Ricardo e Francisco Gandara pela contribuição neste trabalho.

A Fazenda Real Chapada Grande, em especial ao senhor Thiago Junqueira.

A minha turma de mestrado pela amizade e união nos momentos de alegria e tristeza, em especial Nilza Carvalho, José Monteiro, Janaína Mendes, Samara Raquel, Enayra, Carlos Aydano, João Pedro, Valdeci Calixto, Johnston, Arhtur Coutinho, Samia, Vicente Neto e Bruno Bitencourt.

Muito obrigada!

## ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO EM DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE

Autor: Maristella Moura Calaço Pessoa  
Orientador: Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

### RESUMO

A substituição do Cerrado nativo por monocultivos anuais e, ou, perenes quando mal manejados trazem consequências drásticas para a qualidade do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e biológicas de um LATOSSOLO AMARELO sob monocultivo de soja (SJ), eucalipto (EP) e pastagem (PAS) em relação a uma área com mata nativa (MN). Amostras de solo foram coletadas durante o período chuvoso (fevereiro/2015) para análises físicas e período chuvoso (fevereiro/2015) e seco (setembro/2015) para as análises biológicas. A partir dessas amostras avaliaram-se os atributos físicos como: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), granulometria, resistência do solo à penetração (RP), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados estáveis maiores que >2,0 mm (AGRI>2mm). Com relação aos atributos biológicos foram avaliados o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RB), quociente microbiano (Qmic), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) além da análise química do carbono orgânico total (COT). Os sistemas SJ e PAS apresentaram maiores valores de Ds, menores valores de Pt e Map. Os sistemas com SJ e PAS apresentaram maiores valores de RP ultrapassando o limite crítico de 2 MPa. Os sistemas de manejo do solo MN e EP, com presença de resíduos orgânicos na superfície, exerceram influências positivas sobre a agregação do solo e sobre sua estabilidade. Os valores de CBM e qMIC foram mais elevados no solo sob vegetação natural, indicando a ocorrência de efeitos adversos de monoculturas sobre essas variáveis. No período seco os sistemas antropizados mostraram maiores perdas de C no sistema na forma de CO<sub>2</sub> por unidade de C microbiano. Os atributos físicos e biológicos mostraram-se sensíveis ao manejo do solo. A época de coleta e a cobertura vegetal influenciaram a variação nos indicadores biológicos de qualidade de solo. Os resultados demonstram que o sistema de manejo e o tipo de cobertura vegetal são fatores determinantes de mudanças no funcionamento biológico e físico dos solos.

**Palavras-chave:** Compactação, Carbono da biomassa microbiana, Sazonalidade

## ATTRIBUTES PHYSICAL AND BIOLOGICAL A OXISOL YELLOW IN MONOCULTURES DIFFERENT IN SAVANNA PIAUIENSE

Author: Maristella Moura Calaço Pessoa  
Advisor: Luis Alfredo Leal Pinheiro Nunes

### ABSTRACT

The replacement of native Cerrado by annual monocultures and, or, when perennial mishandled bring drastic consequences for soil quality. This study aimed to evaluate the physical and biological properties of a LATOSOL YELLOW under soybean monoculture (SJ), eucalyptus (EP) and pasture (PAS) in relation to an area with native forest (MN). Soil samples were collected during the rainy season (February / 2015) for physical analysis and rainy season (February / 2015) and dry (September / 2015) for biological analysis. From these samples evaluated the physical attributes as soil density (Ds), total porosity (Pt), macroporosity (Map), microporosity (Mip), grain size, soil penetration resistance (RP), average diameter ( DMP), aggregate stability index (IEA) and percentage of larger stable aggregates > 2,0 mm (AGRI > 2 mm). With respect to biological attributes were evaluated the microbial biomass carbon (MBC), soil basal respiration (BR), microbial quotient (QMIC), metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) in addition to the chemical analysis of total organic carbon (TOC). The SJ and PAS systems had higher Ds values, lower values of Pt and Map. Systems with SJ and PAS showed higher PR values exceeding the critical limit of 2 MPa. The management systems of MN and solo EP, with the presence of organic residues on the surface, exerted positive influence on soil aggregation and on its stability. The values of CBM and qMIC were higher in soil under natural vegetation, indicating the occurrence of adverse effects of monocultures on these variables. In the dry season the anthropic systems showed greater losses of C in the system in the form of CO<sub>2</sub> by microbial C unit. Physical and biological attributes were sensitive to soil management. The time of collection and vegetation influenced the variation in biological indicators of soil quality. The results demonstrate that the management system and the type of vegetation cover are determinants of changes in biological and physical functioning of the soil.

**Keywords:** Compaction, carbon microbial biomass, Seasonality

**LISTA DE TABELAS****CAPÍTULO 1**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> - Histórico do manejo e adubação das áreas.....  | 30 |
| <b>Tabela 2</b> - Composição granulométrica dos solos nos sistemas de manejo estudados.....  | 31 |
| <b>Tabela 3</b> - Classes de resistência do solo à penetração.....   | 34 |
| <b>Tabela 4</b> - Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP) obtidos a partir de todos os atributos analisados ..... | 47 |

**LISTA DE TABELAS****CAPÍTULO 2**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> - Histórico do manejo e adubação das áreas.....   | 61 |
| <b>Tabela 2</b> - Composição granulométrica dos solos sob diferentes monocultivos na camada de 0-0,20 m. .... | 61 |
| <b>Tabela 3</b> - Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP).<br>.....            | 73 |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2005 a 2015. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Fazenda Real Chapada Grande - PI.. 30
- Figura 2** - Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Real Chapada Grande, Regeneração/PI. Fonte: Fgandara.....29
- Figura 3** - Densidade do solo (Ds) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....36
- Figura 4** - Porosidade total (Pt) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....37
- Figura 5** - Macroporosidade (Map) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....40
- Figura 6** - Microporosidade (Mip) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....41
- Figura 7** - Índice de estabilidade de agregados (IEA) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....43
- Figura 8** - Diâmetro médio ponderado (DMP) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....42
- Figura 9** - Porcentagem de agregados maiores que 2 mm na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....44
- Figura 10** - Resistência do solo à penetração (RP) obtidas em Latossolo Amarelo e valor limitante para o crescimento das culturas de 2 MPa. ....45
- Figura 11** - Análise de componentes principais (ACP) com base nos atributos físicos do solo. Ds=densidade do solo, Pt = porosidade total, Mip= micoporosidade, Map=

macroporosidade, DMP = diâmetro médio ponderado IEA= índice de estabilidade de agregados .....48

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2005 a 2015. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Fazenda Real Chapada Grande - PI. .59
- Figura 2** - Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Real Chapada Grande, Regeneração/PI. Fonte: Fgandara.....60
- Figura 3** - Carbono Orgânico Total (COT) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....64
- Figura 4** - Carbono da biomassa microbiana (CBM) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....66
- Figura 5** - Quociente microbiano (qMIC) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....69
- Figura 6** - Respiração Basal (RB) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....71
- Figura 7** - Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....72
- Figura 8** - Análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis do solo nos diferentes tratamentos. SJ 1, PAS 1, EP 1 e MN 1 correspondem ao período chuvoso e Soja 2, PAS 2, EP 2 e MN 2 correspondem ao período seco. ....74

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL .....   | 12 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....  | 14 |
| 3. REFERÊNCIAS .....  | 20 |
| CAPÍTULO 1: Atributos físicos de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes monoculturas no cerrado piauiense .....    | 25 |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 27 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 29 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 36 |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 50 |
| 5. REFERÊNCIAS .....  | 51 |
| CAPÍTULO 2: Atributos biológicos de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes monoculturas no cerrado piauiense ..... | 55 |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 57 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 59 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 64 |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 75 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 76 |
| 6. REFERÊNCIAS .....  | 77 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A região dos Cerrados, no Brasil, ocupa uma área que corresponde a 25% do território nacional e são compostos principalmente de Latossolos (46%) e Argissolos (15%), caracterizados pela boa estrutura física, mas de baixa fertilidade, acidez elevada, e uma propensão à degradação. Trata-se de solos maduros, profundos, com ótima drenagem e que se assentam em relevos planos ou levemente ondulados, apresentando elevado potencial para exploração agropecuária, e nos últimos anos vem sendo utilizada com o cultivo de culturas para a produção de grãos (AGUIAR & MONTEIRO, 2005).

No Cerrado brasileiro, o cultivo convencional e o uso intensivo de implementos agrícolas têm promovido mudanças na variabilidade dos seus atributos químicos, físicos e biológicos. Essas mudanças têm ocorrido de forma mais intensa em áreas sob sistema plantio convencional do solo facilitando o processo de compactação e comprometendo a drenagem da água e penetração de raízes (LIMA et al., 2013). Já o solo mantido sob vegetação nativa oferece condições adequadas ao desenvolvimento das plantas e quando esse ambiente é transformado em agricultura convencional ocorrem, em geral, mudanças drásticas na sua qualidade física além de perda de matéria orgânica.

No Cerrado piauiense a unidade de mapeamento mais representativa é o LATOSSOLO AMARELO, onde a adoção de práticas de manejo inadequadas tem provocado a sua degradação, sendo que as culturas de implementação nesta região é geralmente feita através de manejo convencional. No topo das chapadas ocorrem os territórios mais explorados economicamente no Cerrado piauiense, pois constituem as áreas planas, as quais têm as maiores transformações pedológicas, e onde nas últimas três décadas vem sendo ocupado por grandes projetos agrícolas para produção de grãos. Mais recentemente essas áreas vêm sendo gradativamente substituídas por pastagens e cultura do eucalipto.

O manejo convencional do solo com intenso revolvimento por máquinas agrícolas rompe os agregados da camada superficial e acelera a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente nos demais indicadores físicos e biológicos do solo. Atualmente, esse sistema de manejo tem sido utilizado na

abertura de novas áreas ou quando há necessidade de intervenção antrópica no solo, onde a vegetação nativa é convertida em áreas de produção agrícola, principalmente nas chapadas (FERREIRA et al., 2009). Este tipo de manejo se dá, sobretudo, na cultura da soja. O plantio diretamente na palha, prática conhecida como plantio direto, seria uma alternativa viável para diminuir os impactos negativos sobre os indicadores de qualidade do solo.

Por outro lado, o cultivo mínimo com reduzido uso de implementos agrícolas e com a manutenção de restos culturais sobre a superfície do solo preserva as características originais do solo. Em pastagens, onde verifica-se um grande aporte de resíduos orgânicos ao subsistema decompositor, mostra-se um sistema de manejo favorável a manutenção de uma boa qualidade do solo. No entanto, a superpopulação de animais ocasiona um pisoteio excessivo o que leva a degradação do solo pela compactação.

Assim, o monitoramento da qualidade do solo pode ser realizado mediante avaliação das alterações dos seus atributos em relação ao estado original. Neste sentido, as hipóteses do estudo são: (1) Os diferentes usos e manejo do solo afetam as propriedades físicas de forma que há a deterioração de sua qualidade física em comparação com um solo sob vegetação natural. (2) O manejo do solo em sistema convencional não melhora as suas propriedades físicas, o que contribui para uma exploração agrícola não sustentável do solo, na região do Cerrado. (3) Os sistemas de manejo, a cobertura vegetal e a sazonalidade influenciam a biomassa microbiana do solo em região de Cerrado.

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as propriedades físicas e biológicas do solo sob diferentes monoculturas em um LATOSSOLO AMARELO Distrófico na região do Cerrado piauiense.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Manejo do solo no Cerrado piauiense

Os cerrados se constituem a segunda maior formação vegetal brasileira, depois da Floresta Amazônica, com aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados (22% do território nacional). No Piauí, esse bioma, tem porções distribuídas nas regiões sudoeste, centro e norte (BRASIL, 2005) ocupando aproximadamente 11,5 milhões de hectares e 46 % da área total do Estado, onde os LATOSSOLOS são a unidade mais representativa de solos e têm sido intensivamente incorporados ao processo agrícola (IBGE, 2010).

No Cerrado piauiense há o predomínio de monocultivo com exploração de grãos, sobretudo soja, significando que, ao mesmo tempo em que se desenvolve o cultivo dessa cultura, ocorre o processo inverso com as culturas tradicionais (AGUIAR & MONTEIRO, 2005). Contudo, recentemente, as áreas sob vegetação de Cerrado no Piauí vêm sendo gradativamente substituídas por pastagens e florestas plantadas, como o eucalipto.

Em razão do uso intenso do solo e da expansão da produção agrícola é crescente a preocupação quanto à perda de qualidade do solo, no Estado do Piauí, que é uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil (ARAÚJO et al., 2011). Os indicadores físicos e biológicos do solo são importantes ferramentas a serem utilizadas no monitoramento das alterações ambientais no solo em decorrência do uso agrícola.

Pesquisa realizada por Fontenele et al., (2009) e Araújo et al., (2010) no Cerrado piauiense, evidenciaram que o plantio convencional contribuiu para aumento de densidade e diminuição da porosidade do solo e na diminuição da taxa de infiltração de água em mais de 80% em, e uma menor agregação em solos com manejo convencional em relação à mata nativa.

O sistema plantio direto vem expandindo como alternativa ao sistema convencional de preparo do solo no intuito de contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas, por manter o solo coberto por restos culturais ou por plantas vivas o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão, e por manter o teor de matéria orgânica (CHAN et al., 1992; ALBUQUERQUE et al., 1995) o

que leva a maior retenção de água. Entretanto, nos Latossolos do Cerrado é comum a presença de compactação superficial quando adotado o sistema plantio direto de forma contínua (SILVEIRA et al., 2008).

Estudos evidenciaram que o sistema plantio direto (PD) tende a melhorar as propriedades físicas do solo à medida que os cultivos forem se sucedendo (ZAMBOLIM et al., 2001; PEREIRA et al., 2007). Entretanto, Pragna et al. (2012), avaliando aspectos físicos de um Latossolo Amarelo no Cerrado piauiense obtiveram resultados que demonstram que a densidade do solo e o volume de poros indicaram um efeito negativo do uso do solo e a ineficiência da condução do sistema plantio direto em recuperar atributos físicos. Por outro lado, em monocultivos com cultivo mínimo e que mantêm uma boa cobertura do solo mostram características físicas do solo próximo as da mata nativa.

Ibiapina et al., (2014) comprovaram que o cultivo de soja sob manejo convencional por vários anos compromete a estabilidade de agregados do solo. No mesmo estudo os autores evidenciaram que o monocultivo do eucalipto por meio do cultivo mínimo preserva as características físicas originais do solo.

Já Cortez et al., (2014) encontraram incrementos nos valores de carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano e carbono orgânico total em plantações de eucalipto com 5 anos em relação à mata nativa.

Pavanelli e Araújo (2010) avaliando parâmetros químicos e biológicos de qualidade do solo em cultivo de braquiária e soja não encontraram efeito significativo no cultivo de soja sobre os indicadores biológicos.

## **2.2 Atributos físicos do solo**

A qualidade física dos solos é um importante elemento de sustentabilidade, com estudo em contínua expansão, já que as propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidos para satisfazer as exigências das culturas quanto ao suporte e crescimento radicular; armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (MCKENZIE et al., 2014; ARSHAD et al., 1996), e, portanto, indiretamente o crescimento e produtividade de plantas. A qualidade física do solo é fortemente

afetada pelo manejo do solo incluindo rotação de culturas, adubação verde, plantio direto e tráfego de máquinas agrícolas (KIBBLEWHITE et al., 2008; VALIPOUR, 2014).

Um solo com uma qualidade física pobre se caracteriza por má infiltração e aeração, escoamento superficial, baixo desenvolvimento de raízes, enquanto que um solo com boas condições físicas se mostra com ausência das condições listadas acima (DEXTER, 2004). Geralmente, os principais indicadores físicos que têm sido utilizados e recomendados são: densidade do solo, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados. No cerrado, algumas pesquisas têm sido direcionadas para a avaliação do efeito das alterações do manejo em alguns atributos físicos do solo como a densidade, porosidade e a resistência do solo à penetração (BARBOSA et al., 2016; IBIAPINA et al., 2014).

As alterações provocadas pelo uso agrícola na distribuição de poros, nas propriedades mecânicas e em processos de transporte de água e gases no solo estão direta ou indiretamente relacionadas com a densidade do solo que é uma propriedade variável e depende da compactação e estrutura do solo. O material constituinte do solo tem grande influência sobre o tipo de cobertura vegetal, densidade do solo e sistemas de uso e manejo (BICALHO et al., 2011). O monitoramento da densidade do solo no momento de iniciar e após as atividades numa área agrícola é imprescindível ao planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, pois este atributo quando avaliado continuamente permite monitorar a eficiência no sistema de manejo adotado (TORRES et al., 2011).

A porosidade do solo é um índice que quantifica a fração do volume de do solo ocupada pelos poros, sendo inversamente relacionada com a densidade do solo, isto é, quanto maior a densidade menor a porosidade (LIBARDI, 2005). Este atributo está estreitamente ligado à dinâmica do armazenamento e do movimento de solutos e de circulação de gases no seu interior, essenciais aos processos bioquímicos das plantas, sobretudo aqueles relacionados com a produtividade vegetal (LIMA et al., 2007).

A qualidade estrutural do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo

comportamento dos processos que ocorrem no solo (FERREIRA, 2010). A estrutura é boa indicadora da qualidade do solo devido a sua sensibilidade às práticas de manejo adotadas. De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas como estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade do solo adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Na medida em que se intensifica o uso agrícola os atributos físico-hídricos do solo sofrem alterações, geralmente adversas ao crescimento vegetal, que ficam mais nítidas quando os sistemas de uso são comparados com o estado do solo ainda sob vegetação natural (SANTOS et al., 2011). Dessa forma, a adoção de sistemas de manejo que mantenham a cobertura do solo pelo contínuo aporte de resíduos orgânicos é de grande importância para manutenção e/ou melhoria da estrutura do solo.

Os agregados são componentes da estrutura do solo sendo muito importantes para a manutenção da porosidade e da aeração, crescimento dos microrganismos e das plantas, infiltração de água e estabilidade necessária à prevenção da erosão (OADES, 1984; DEXTER, 1988) sendo que as práticas de manejo alteram a estabilidade dos agregados (PORTELLA et al., 2012; WENDLING et al., 2012; PLAZA-BONILLA et al., 2013). Os cultivos sucessivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos, calagens, adubações e maior exposição do solo à ação da chuva e a ciclos de umedecimento e secagem, também promovem redução dos agentes cimentantes, em especial da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (KAY & MUNKHOLM, 2004; VASCONCELOS et al., 2010).

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionada com o crescimento das plantas (LETEY, 1985) e modificada pelos sistemas de manejo do solo e refere-se ao comportamento do solo quanto à compactação, o conteúdo de água e a granulometria (PAULUCIO et al., 2014). Este indicador além de influenciar no crescimento de raízes, serve como base à avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular e a permeabilidade do solo (TORMENA et al, 2002). A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo sendo

restritiva ao crescimento radicular e a infiltração de água no solo acima de 2 MPa.

### **2.3. Indicadores Biológicos do solo**

A biomassa microbiana é considerada um importante indicador biológico de qualidade do solo, pois é muito sensível às interferências que ocorrem no meio ambiente (FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009). Além disso, os microrganismos participam ativamente em processos benéficos como a estruturação do solo, a solubilização de nutrientes para as plantas e a formação do húmus (KASCHUK; 2010; SOUZA et al., 2008). Assim, respostas a mudanças nos sistemas de uso e manejo do solo podem ser detectadas muito mais rapidamente pela biomassa microbiana e seus metabólitos do que nos teores de C do solo, principalmente devido ao tempo de ciclagem da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

O C associado à biomassa microbiana é o componente mais ativo da fração lábil, pois transforma e transfere energia e nutrientes para os demais componentes do ecossistema, atualmente é usado, conjuntamente com outros atributos, como indicador da sustentabilidade de agroecossistemas e da qualidade ambiental e (DE-POLLI & GUERRA, 2008). Os maiores valores de biomassa microbiana do solo são encontrados nos sistemas naturais, destacando-se os ambientes onde há um maior fluxo de resíduos (RIBEIRO, 2014). Neves et al. (2009), estudando o carbono da biomassa microbiana em Latossolo Vermelho distrófico em diferentes sistemas de manejo, concluíram que os teores deste parâmetro foram reduzidos em todos os sistemas estudados em relação ao cerrado nativo, em função da ação antrópica.

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido. Os fungos e as bactérias são os principais responsáveis pela maior liberação de CO<sub>2</sub>, via degradação da matéria orgânica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A atividade da microbiota do solo pode ser avaliada de diversas formas, como pela atividade de certas enzimas no solo, pela medição da sua biomassa, medidas da respiração basal (TÓTOLA & CHAER, 2002), entre outras. Assim como outros

processos metabólicos, a respiração depende do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores do solo, como: a temperatura, a estrutura, a umidade, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a presença de resíduos orgânicos, a relação C/N entre outros. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM & WEIL, 2000).

O quociente metabólico ou respiratório ( $qCO_2$ ) indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002). Segundo Anderson & Domch (1993), valores de  $qCO_2$  elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estádios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou seja, um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico.

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) que corresponde à relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT) reflete a qualidade da matéria orgânica, e a quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana (CARDOSO et al., 2009). Baixos valores de  $qMIC$  podem ser ocasionados devido à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, fazendo com que a biomassa microbiana torne-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico ou por circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Já em locais sob condições favoráveis, há tendência de aumento da biomassa microbiana e, em consequência, o  $qMIC$  tende a aumentar (KASCHUK et al., 2010).

### 3. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e sociedade**, v.8, p. 161-178, 2005.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FORTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 115-119, 1995.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.717-723, 2010.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; NETO, M. R. H. Estimativa da Erodibilidade de Latossolos do Piauí. **Scientia plena**, v. 7, p. 1-6, 2011.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.857-865, 2000.
- ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p.123- 141, 1996.
- BARBOSA, L.R.; NUNES, L. A.P.L; ARAÚJO, A.S.F.; SILVA, F.R.; IBIAPINA, T.V.B. Penetration resistance and density of a yellow oxissol under conventional management at different ages. **Bioscience Journal**,v. 32, p. 115-122, 2016.
- BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, vol. 7, p.1-9, 2011.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, p.631-637, 2009.
- CHAN, K. Y.; ROBERTS, W. P.; HEENAN, D. P. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 71-83, 1992.
- CORTEZ, C. T., NUNES, L. A. P. L.; RODRIGUES, L. B., EISENHAEUER, N., ARAÚJO, A. S. F. Soil microbial properties in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.14, p.734-742, 2014.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In.: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre, p. 263-276, 2008.

DEXTER, A. R. **Advances in characterization of soil structure**. Soil Tillage Research, v.11, p.199-238, 1988.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 117-127, 2009.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Lier, Q. J. van (ed.). Física do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.1-27, 2010.

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

FONTENELE, W.; SALVIANO, A. A. C.; MOUSINHO, F. E. P. Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, p. 194-202, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 9, p. 893-901, 2005.

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

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G.; SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado piauiense. **Revista Científica** v. 42, p. 411-418, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. Rio de Janeiro, 2010.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.79, p.9-16, 2000.

KAY, B. D.; MUNKHOLM, L. J. Management-induced soil structure degradation – organic matter depletion and tillage. In: SCHJØNNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. **Managing soil quality: Challenges in modern agriculture**. Tjele, Denmark: CABI Publishing, p.185-197, 2004.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.

KIBBLEWHITE, M. G, RITZ, K, SWIFT M. J. Soil health in agricultural systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 363, p.685-701, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 335, 2005.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M. de.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto.. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, 2007.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 16-23, 2013.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

MCKENZIE, B. M., TISDALL, J.M., VANCE, W.H., Soil physical quality. **Encyclopedia Earth Science Service**, v. 3, p. 770–777, 2014.

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

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. D. S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 105-112, 2009.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, p.319-337, 1984.

PAULUCIO, F. F. PEREIRA.; R. S. RIBEIRO, E. S.; ZAMBRZYCKI, G. C. SOUSA.; R. A. T. de M. Avaliação da compactação do solo em área de cerrado *sensu stricto* através do mapeamento da resistência à penetração. **Biodiversidade**, v.13, p.54-66 2014.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L. M. O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na

microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1397-1412, 2007.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, p 1591-1600, 2012.

PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1868-1877, 2012.

PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ C.; VIÑAS, P.; ÁLVARO-FUENTES, J. Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. **Geoderma**, v.193, p.76-82, 2013.

RIBEIRO, J. M. **Atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas agroflorestais do norte de minas gerais**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros, 89 p, 2014.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R. & RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: A laboratory study. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p.96-101, 2002.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; JÚNIOR, J. A.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, p. 53-59, 2008.

SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; MACIEL, C. D.; CAMPO, R. J.; ZAIA, D. A. M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p. 83-91, 2008.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, p.795-801, 2002.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, p.437-445, 2011.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C.

E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p.195-276, 2002.

VALIPOUR, M. Future of agricultural water management in Europe based on socioeconomic indices. **Acta advances in agricultural sciences**, v. 2, p.1-18, 2014.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. da; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309-316, 2010.

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

ZAMBOLIM, L; REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças de plantas no sistema plantio direto. In: ZAMBOLIM, L., ed. **Manejo integrado de fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto**, p.257-274, 2001.

## CAPÍTULO 1

### ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE

Autor: Maristella Moura Calaço Pessoa

Orientador: Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

#### RESUMO

A qualidade física do solo é essencial para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os atributos físicos de um LATOSSOLO sob monocultivo de soja (SJ), eucalipto (EP), pastagem (PA) e área com mata nativa (MN) nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada para a realização das análises físicas, a saber: granulometria, densidade do solo ( $D_s$ ), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA), porcentagem de agregados > 2mm (AGRI), porosidade total (PT), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip) e resistência à penetração (RP). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA e ao teste de Tukey para a comparação de médias e análise multivariada. Os diferentes usos e manejo do solo afetam as propriedades físicas resultando na deterioração da qualidade nas áreas de SJ e PAS. Os sistemas de manejo do solo em áreas com PAS e SJ resultaram na menor agregação do solo. As camadas de solo de 0-0,20 até 0-0,40 m de profundidade apresentam os maiores valores de resistência à penetração do solo para as áreas de SJ e PAS. Os sistemas de manejo do solo exerceram influências sobre a agregação do solo e sobre sua estabilidade. O manejo do solo em sistema convencional utilizado anteriormente contribuiu para a degradação das propriedades físicas nas camadas mais profundas o que foi observado nas áreas de SJ e PAS.

**Palavras-chave:** Agregação do solo, Resistência à penetração, Densidade do solo

**CHAPTER 1**

**ATTRIBUTES PHYSICAL OF A OXISOL YELLOW UNDER  
MONOCULTURES DIFFERENT IN SAVANNA PIAUIENSE**

Author: Maristella Moura Calaço Person

Advisor: Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

**ABSTRACT**

Soil physical quality is essential to the sustainability of agricultural production systems. The objective of this study was to evaluate the physical properties of a LATOSOL under soybean monoculture (SJ), eucalyptus (EP), pasture (PA) and area with native forest (NF) in depths from 0 to 0.20 and 0.20 - 0.40 m. Foram collected soil samples with deformed and non deformed structure to carry out the physical, namely particle size, bulk density (Ds), mean weight diameter (DMP), aggregate stability index (ESI) , percentage of aggregate > 2 mm (AGRI), total porosity (PT), macroporosity (Map), microporosity (Mip) and penetration resistance (RP). The data were submitted to ANOVA analysis of variance and Tukey test for comparison of means and multivariate analysis. The different uses and soil management affect the physical properties resulting in the deterioration of quality in the areas of SJ and PAS. Soil management systems in areas with PAS and SJ resulted in less soil aggregation. Soil layers of 0-0.20 to 0 to 0.40 m deep have the highest resistance values will soil penetration in the areas of SJ and PAS. Soil management systems exerted influence on soil aggregation and on its stability. The conventional soil management system previously used does not promote the improvement in physical properties in the deeper layers was observed that in the areas of SJ and PAS.

**Keywords:** Aggregation, penetration resistance, soil density

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado piauiense ocupa uma área de quase 12 milhões de hectares, o que corresponde a 46% do Estado, 5,9% do Cerrado brasileiro e 36,9% do Cerrado nordestino (AGUIAR; MONTEIRO, 2005). Com o crescente aumento de áreas agrícolas no Cerrado piauiense e a adoção de tecnologias mecanizadas, acarreta alterações nas propriedades físicas do solo. As intervenções antrópicas no uso do solo modificam seus atributos físicos, conduzindo a problemas como a compactação do solo, como aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total e elevação da resistência à penetração (OLIVEIRA et al., 2013).

A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ et al., 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI et al., 2007). O impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e a distribuição dos agregados em classes de tamanho ou sua estabilidade em água (CARNEIRO et al., 2009).

O preparo do solo é um componente muito importante, pois essa atividade exerce influencia nos atributos indicadores da qualidade física do solo atuando em sua estrutura. A exploração agrícola do solo com o cultivo de soja ocorre baseada em sistemas de manejo com intenso revolvimento do solo, provocando modificações nas suas características originais. Já em monocultivo de pastagens ocorre criação extensiva do gado muitas vezes provocando compactação pelo pisoteio. Por sua vez, a eucaliptocultura proporciona uma serapilheira com elevada relação C/N (> 25) e altos teores de lignina e polifenóis, de acordo com a parte da planta estudada, e também alta relação C/P e C/S, o que contribui para lenta decomposição do resíduo (PULROLNIK et al. 2009).

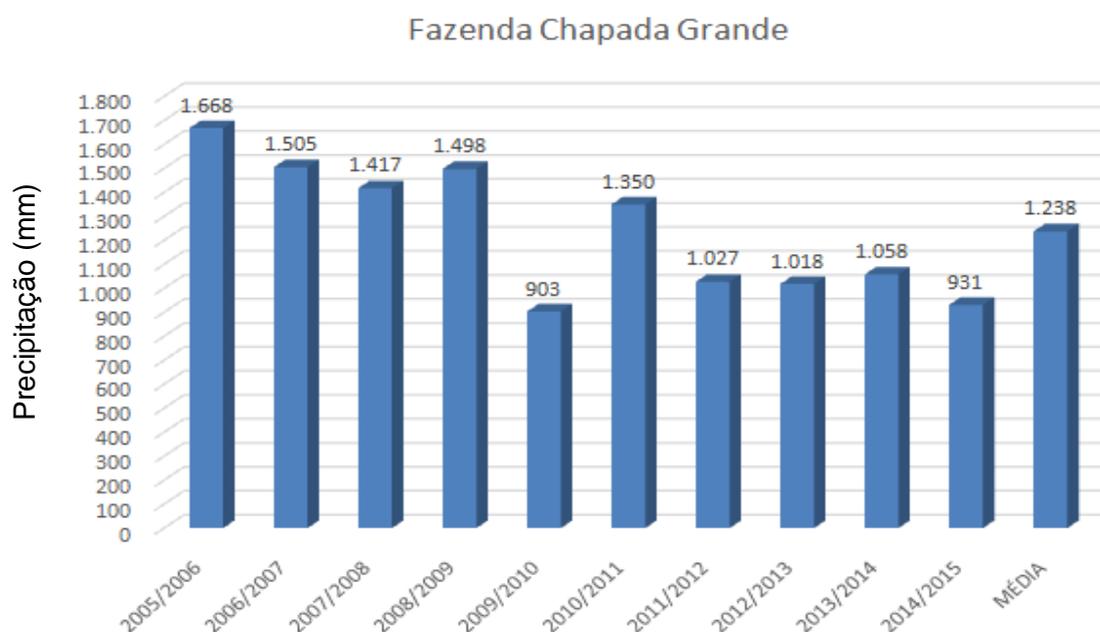
Estudos relativos ao monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos são importantes para a avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, além de sinalizar o manejo adequado do ambiente visando

à sua conservação e produtividade (MOTA et al., 2013). Desta forma, a avaliação do solo por meio de seus atributos físicos é de grande relevância em áreas manejadas podendo apresentar melhorias ou não em sua estrutura dependendo do manejo adotado. Portanto, objetivou-se avaliar as alterações nas propriedades físicas de um LATOSSOLO AMARELO Distrófico sob diferentes usos no Cerrado piauiense.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

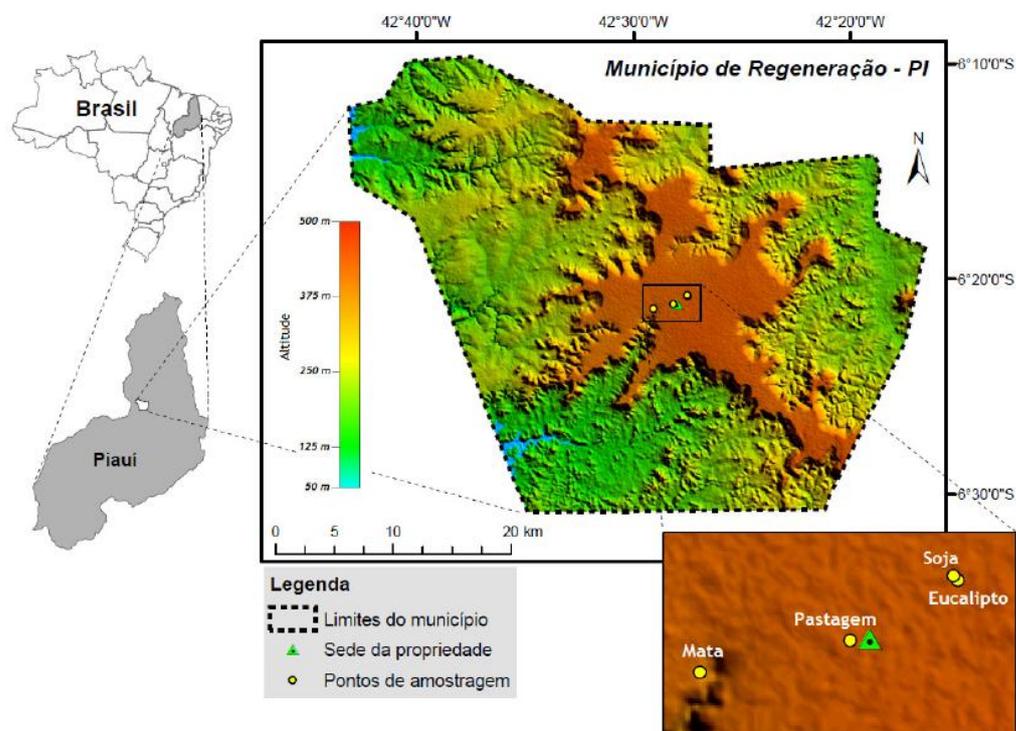
### 2.1 Localização e descrição geral da área

O estudo foi realizado na Fazenda Chapada Grande, situada no município de Regeneração/PI, aproximadamente 20.000 ha, com altitude de 400 m, coordenadas geográficas (06° 14' 16" latitude Sul e 42° 41' 18" longitude Oeste). O clima, segundo a classificação climática de Köppen (1948) é do tipo Aw (tropical chuvoso). A região apresenta temperatura média anual de 26,4 °C e a precipitação com chuvas distribuídas de outubro a maio com média nos últimos dez anos de 1.238 mm (Figura 1).



**Figura 1-** Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2005 a 2015. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Fazenda Real Chapada Grande - PI.

Foram escolhidas quatro áreas adjacentes (Figura 2), em plantação de eucalipto, soja, pastagem e como referência foi utilizada uma mata de Cerrado.



**Figura 2-** Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Real Chapada Grande, Regeneração/PI. Fonte: Fgandara.

As áreas foram escolhidas utilizando como critérios a proximidade das culturas desejadas e por apresentarem a mesma classe de solo. Em cada área foram demarcadas parcelas de 100 m<sup>2</sup> georreferenciadas onde foi coletado o solo. Na tabela 1 encontra-se o histórico de usos das áreas estudadas.

**Tabela 1** - Histórico do manejo e adubação das áreas.

| Área             | Histórico  |
|------------------|--|
| <b>Eucalipto</b> | Área com plantio de Eucalipto (MA 2000) feito após a derrubada de mata de cerrado com enleiramento e queima dos galhos e folhas. O preparo inicial do solo consistiu em gradeamento e sulcamento para plantio, incorporação de 4 t ha <sup>-1</sup> de calcário e 400 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo. O plantio de eucalipto foi realizado em 2008, utilizando-se de espaçamento de 3,5 x 2,5 m. Procedeu-se a uma adubação de cobertura com NPK formula 10-20-10, com 150 kg pé <sup>-1</sup> . Foram realizadas as seguintes operações: subsolagem na ocasião do preparo de solo, capina manual na área, 2 meses após o plantio e gradagem entre linhas, 3 meses |

|                    |   |
|--------------------|---|
|                    | após o plantio.   |
| <b>Soja</b>        | Área cultivada com arroz antes do cultivo com soja. O preparo inicial do solo consistiu em aração, sulcamento, catação de raízes e incorporação de 4 t ha <sup>-1</sup> de calcário e adubação de 250 kg ha <sup>-1</sup> de NPK fórmula 0-20-10. Utilizou-se manejo convencional até o ano de 2012. A partir de 2013 utilizou-se o plantio direto. |
| <b>Pastagem</b>    | Área cultivada com soja sob manejo convencional a partir de 2008. A partir de 2011 passou a ser cultivada com <i>Bachiaria brizanta</i> utilizando-se o manejo idêntico a área com soja. Área com lotação de 20 UA animal. A pastagem passa 8 meses sendo utilizada pelo gado e 4 meses em descanso.  |
| <b>Mata nativa</b> | Área sob cerrado <i>stricto sensu</i> , com vegetação original e sem interferência antrópica utilizada como referência.   |

O solo da área em estudo foi classificado como um LATOSSOLO AMARELO Distrófico (JACOMINE, 1986) de textura argilosa (Tabela 2).

**Tabela 2-** Composição granulométrica dos solos nos sistemas de manejo estudados.

| Sistema                             | Granulometria (g kg <sup>-1</sup> ) |       |        | Classe textural |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|-----------------|
|                                     | Areia                               | Silte | Argila |                 |
| <b>Profundidade (0,00 - 0,20 m)</b> |                                     |       |        |                 |
| Soja                                | 367                                 | 192   | 441    | Argilosa        |
| Eucalipto                           | 224                                 | 373   | 403    | Argilosa        |
| Pastagem                            | 273                                 | 219   | 508    | Argilosa        |
| Mata Nativa                         | 288                                 | 280   | 432    | Argilosa        |
| <b>Profundidade (0,20 - 0,40 m)</b> |                                     |       |        |                 |
| Soja                                | 342                                 | 208   | 450    | Argilosa        |
| Eucalipto                           | 284                                 | 292   | 424    | Argilosa        |
| Pastagem                            | 293                                 | 273   | 434    | Argilosa        |
| Mata Nativa                         | 268                                 | 290   | 442    | Argilosa        |

Fonte: Laboratório de Análise de Solos - LASO.

As amostras foram coletadas no mês de fevereiro de 2015 nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m sendo quatro amostras por profundidade. Para as análises físicas do solo, coletou-se amostras indeformadas para avaliação da densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt). Coletou-se também com pá de corte reto amostras de solo com torrões, que foram acondicionados em sacos plásticos para avaliação da estabilidade de

agregados e granulometria. As análises físicas do solo foram realizadas no Laboratório de análises de solo (LASO) e Laboratório de Solos do Colégio Técnico de Teresina (CTT).

## 2.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta EMBRAPA (1997), que consiste na dispersão química de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) utilizando hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e depois dispersão mecânica.

## 2.3 Densidade do solo ( $D_s$ )

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada por meio de anéis volumétricos, as quais após a coleta foram colocadas para secar em estufa a  $105^\circ\text{C}$  até atingir massa constante (BLAKE; HARTGE, 1986).

$$D_s = M_s / V_i \quad (1)$$

Onde:

$D_s$  = densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$M_s$  = massa de solo seco (g)

$V_i$  = volume interno do anel ( $\text{cm}^{-3}$ )

## 2.4 Porosidade total ( $P_t$ )

As amostras de solo para análise de porosidade foram retiradas com auxílio de anéis de volume conhecido, de modo que as amostras não sofressem nenhuma deformação, as análises de porosidade foram realizadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). A porosidade total foi calculada conforme a fórmula abaixo:

$$P_t = (1 - D_s / D_p) \times 100(2) \quad (2)$$

Onde:

$D_s$  = densidade do solo ( $\text{mg m}^{-3}$ );

$D_p$  = densidade de partículas ( $\text{mg m}^{-3}$ ).

## 2.5 Macroporos e microporos

A partir dos volumes conhecidos e das massas das amostras saturadas e depois de colocadas sob a mesa de tensão onde foi retirada a água dos macroporos ( $M_p$ ) (poros com diâmetro  $> 0,05\text{mm}$ . A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão, segundo metodologia da Embrapa (1997).

## 2.6 Estabilidade de agregados

O método utilizado para determinação da estabilidade de agregados foi descrito por Kemper & Chepil (1965), através de peneiramento em água utilizado jogos de peneiras, com malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25, 0,105 mm de abertura respectivamente e em seguida foram submetidos a agitação vertical e secagem em estufa a  $105^\circ\text{C}$ . A massa dos agregados retidos em cada peneira foram secos a  $105^\circ\text{C}$ , durante 24 horas.

Os valores de índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), e o AGRI, somatório dos percentuais, a 2,00 mm foram determinados segundo as seguintes fórmulas:

$$DPM = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (3)$$

$$IEA = (DPM_u / DMP_s) \cdot 100 \quad (4)$$

$$AGRI = (W_{u>2}) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

$DMP_u$  = diâmetro médio ponderado via úmida (mm)

$DMP_s$  = diâmetro médio ponderado via seca (mm)

$w_i$  = proporção de cada classe em relação ao total

$x_i$  = diâmetro médio das classes (mm)

$W_u$  = proporção de agregados > 2 mm estáveis em água.

## 2.7 Resistência do solo à penetração (RP)

A resistência do solo à penetração foi determinada de acordo com (STOLF, 1991) utilizando um penetrômetro de impacto, modelo IAA / Planalsucar – Stolf, por meio da penetração de uma haste no solo a partir de impactos de um peso em queda livre a uma altura de 0,40 m. A equação resumida é a seguinte:

$$R \text{ (MPa)} = (5,6 + 6,89 \cdot N) \cdot 0,0980665 \quad (6)$$

Onde:

R – resistência do solo à penetração e MPa

N – número de impactos por decímetro de penetração

Os valores de resistência foram calculados a partir de 0,05 m de profundidade. A partir dos valores obtidos, as camadas foram discriminadas com relação ao seu grau de compactação de acordo conforme (USDA, 1993) que considera que o limite de 2 MPa como forte restrição ao crescimento radicular (Tabela 3).

**Tabela 3-** Classes de resistência do solo à penetração.

| <b>Classe</b>      | <b>Resistência à penetração (MPa)</b> |
|--------------------|---------------------------------------|
| Extremamente baixa | < 0,01                                |
| Muito baixa        | 0,01 – 0,1                            |
| Baixa              | 0,1 – 1,0                             |
| Moderada           | 1,0 – 2,0                             |
| Alta               | 2,0 – 4,0                             |
| Muito alta         | 4,0 – 8,0                             |
| Extremamente alta  | > 8,0                                 |

Fonte: USDA (1993)

## **2.8 Análise estatística**

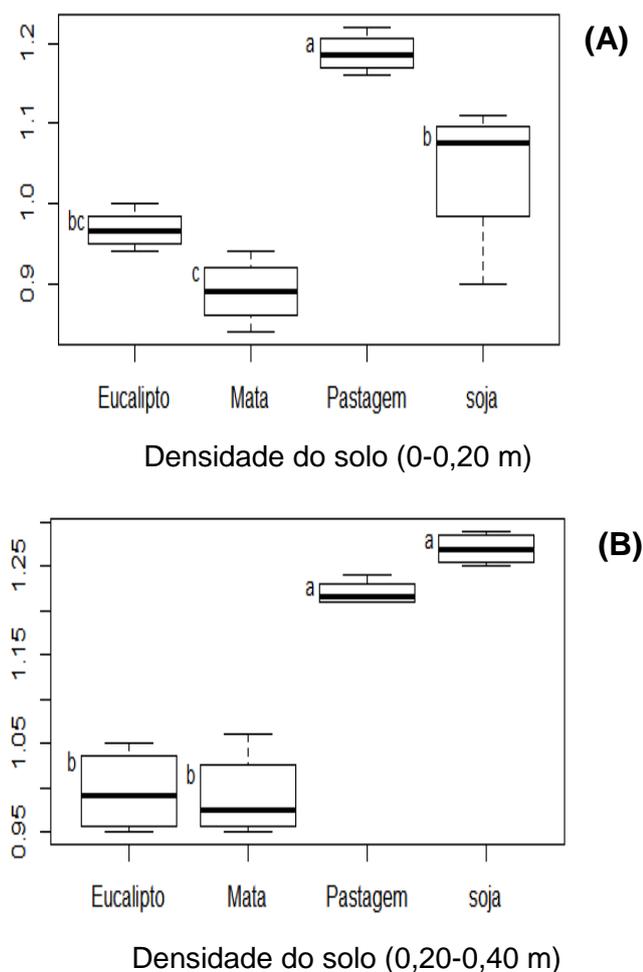
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e ao teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade. Para a confirmação ou rejeição da hipótese estatística, foi utilizado o pacote estatístico R Statistical 7.5 beta (2015).

Foram empregadas também técnicas multivariadas de análises de componentes principais (ACP), para o entendimento de como as variáveis interagiram ao mesmo tempo, utilizando o programa estatístico SAS 9.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

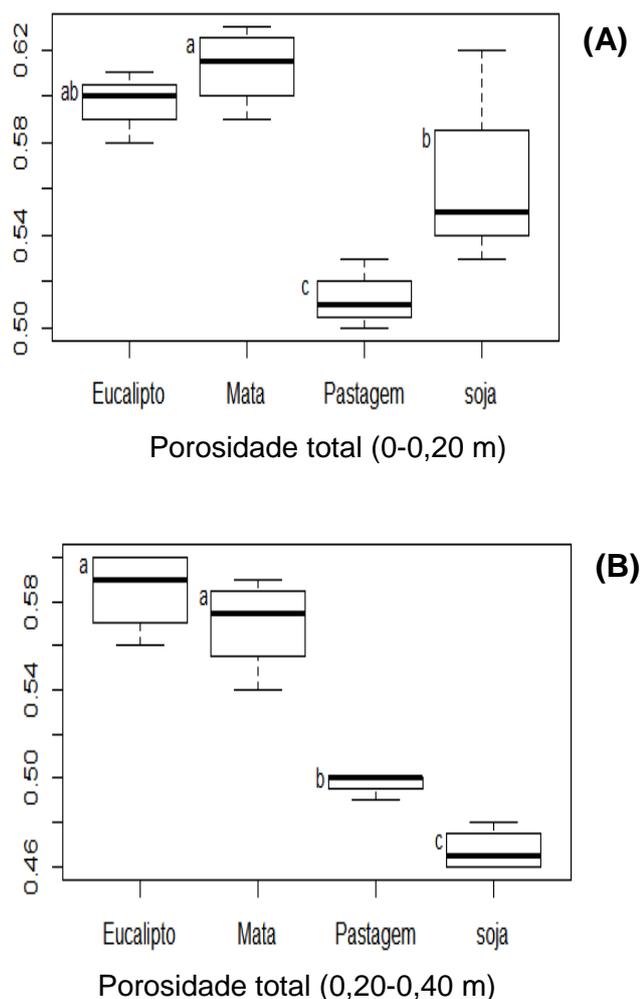
#### 3.1 Densidade do solo e Porosidade total

A densidade do solo ( $D_s$ ) nos sistemas amostrados variou entre 0,89-1,19  $\text{g cm}^{-3}$  para camada 0-0,20 m e entre 0,99-1,27  $\text{g cm}^{-3}$  para camada 0,20-0,40 m respectivamente (Figura 3). Para solos de textura fina, Reynolds et al. (2007) sugeriram que o limite superior de densidade do solo para a aeração adequada da zona de raiz varia de 1,25 a 1,30  $\text{g cm}^{-3}$  e o alongamento da raiz torna-se severamente restringida com densidades variando de 1,4 a 1,6  $\text{g cm}^{-3}$ . Assim, o valor de densidade obtido neste trabalho para cultura da soja encontra-se no limite superior na camada de 0,20 – 0,40 m para solos argilosos.



**Figura 3**-Densidade do solo ( $D_s$ ) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira camada, todos os sistemas mostraram uma porosidade superior a 50% sendo que a pastagem mostrou o menor valor (Figura 3-A). Na camada de 0,20 – 0,40 m o solo do sistema com soja apresentou uma porosidade total abaixo de 50 m m<sup>-3</sup>, a pastagem esteve em torno de 50 m m<sup>-3</sup>, enquanto que para as coberturas com mata e eucalipto esses valores foram respectivamente 57 e 59 %, respectivamente (Figura 4-B).



**Figura 4-** Porosidade total (Pt) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É provável que o aumento de Ds e redução da Pt no sistema com soja devem estar associados com o tráfego de máquinas por 5 anos. Vários estudos mostram o intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas

utilizados em sistema de manejo convencional com o tempo conduz a compactação do solo pelo aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade em camadas mais profundas (BONO et al., 2013; FIGUEREDO et al., 2009). Isto ocorre porque a utilização de máquinas agrícolas como o arado e a grade pesada, em uma mesma profundidade de corte, por vários anos consecutivos, favorece a formação de uma camada compactada subsuperficial, logo abaixo da ação dos implementos, normalmente até 20 cm. Segundo Loss et al., (2012) o aumento da  $D_s$  em profundidade pode apresentar relação com as pressões exercidas pelas camadas superiores, podendo promover compactação pela redução da porosidade.

Estudo realizado por Moraes et al. (2016) verificaram que sistema de plantio convencional por 20 anos em um Latossolo Vermelho de textura argilosa aumentou a densidade do solo e reduziu a macroporosidade na camada abaixo de 0,20 m para valores abaixo do nível crítico para o desenvolvimento das culturas em relação ao plantio direto. Para os autores a qualidade física do solo é melhorada com o tempo após a adoção do plantio direto. Segundo Dal Ferro et al. (2014), o plantio convencional contribui para a pulverização do solo conduzindo a maior macroporosidade na camada superficial em relação ao plantio direto.

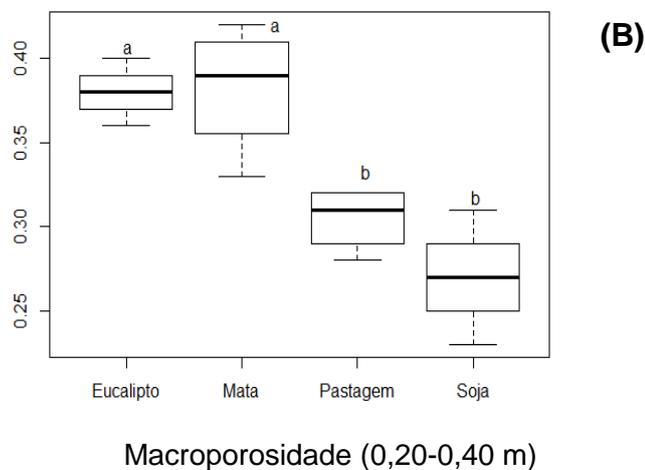
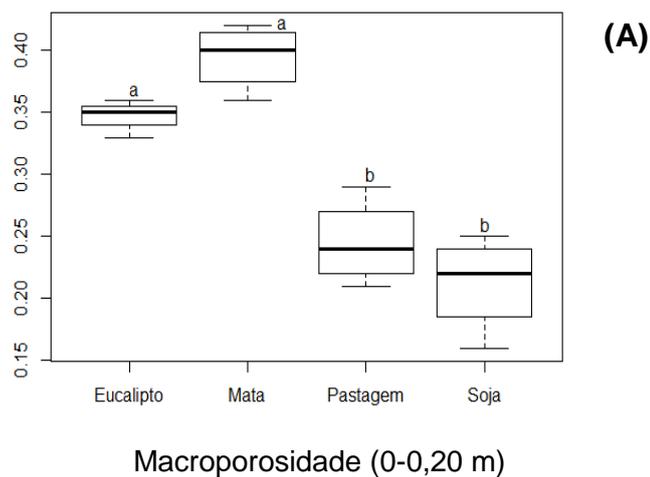
No sistema com pastagem, a maior densidade verificada na camada superficial provavelmente se deve ao intenso pisoteio causado pelo superpastejo. O pastejo permanente causa declínio da qualidade física do solo por incremento na densidade e diminuição na porosidade da camada superficial do solo (Jakelaitis et al., 2008). Ademais, levando em conta o histórico da área sob pastagem, observa-se que os três anos que antecederam a implantação desse sistema, o solo foi manejado com soja sob manejo convencional, fato que pode ter contribuído pra a maior densidade na camada subsuperficial.

Em contrapartida, os sistemas com MN e EP mostraram maiores valores de porosidade que variaram de 0,58 a 0,61  $m^3 m^{-3}$  nas duas camadas (Figura 4), seguramente pela maior deposição de resíduos nessas áreas. Ademais, a textura argilosa desses solos pode ter favorecido valores mais elevados de poros. Pesquisa realizada por Wendling et al. (2012) em um Latossolo de

textura muito argilosa constatou que a porosidade variou de 0,55 a 0,65  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  até a profundidade de 0,20 m em áreas de cerrado nativo e floresta de pinus.

### 3.2 Macroporosidade e microporosidade

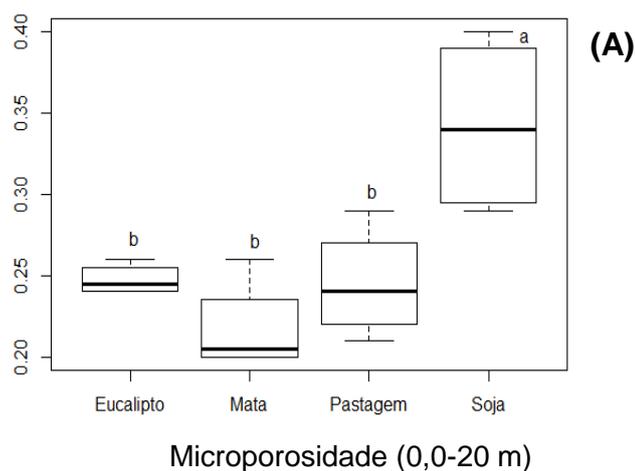
Nesse estudo, houve redução da Map nos solos submetidos aos sistemas de manejo, exceto o eucalipto, em relação ao solo sob mata nativa (Figura 5). A Map foi maior na mata nativa (0,39  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e menor no sistema de pastagem (0,20  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Os valores de Map são importantes para o rápido fluxo de água e de ar no solo e para diagnóstico da compactação do solo, visto que a principal redução de volume de poros do solo ocorre nesta fração da porosidade total (SCHJONNING ; LAMANDE, 2010).

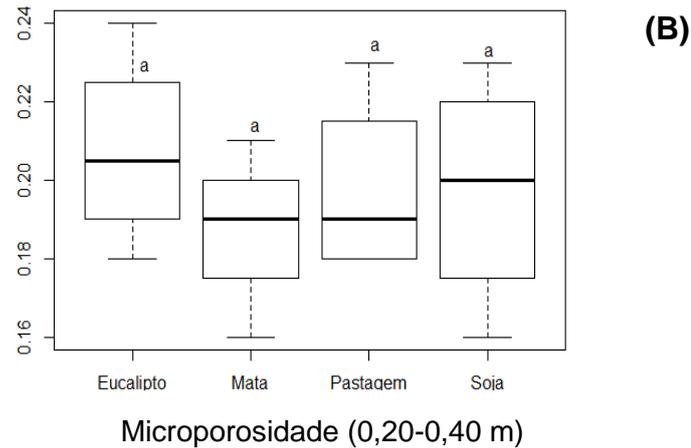


**Figura 5-** Macroporosidade (Map) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Posteriormente com a adoção do plantio direto na área com soja, houve uma diminuição de macroporos e aumento dos microporos na camada superficial, conforme também observado por Rosseti & Centurion (2013). Estudos realizados por Dal Ferro et al. (2014), evidenciaram que o plantio convencional contribuiu para a maior macroporosidade na camada superficial em relação ao plantio direto.

A microporosidade (Mip) variou entre 0,19 a 0,34  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , e o solo sob mata nativa apresentou a menor Mip (Figura 6). Nas áreas com pastagem e eucalipto os valores não diferiram estatisticamente na camada superficial, demonstrando que amostras de solo coletadas nessas áreas apresentaram valores de Mip similares aos quantificado sem amostras submetidas às condições naturais do solo. Já na segunda camada, os sistemas não apresentaram diferenças significativas. Assim, a Mip não apresenta diferença visto que, neste domínio, os poros são predominantemente dependentes da textura do solo, sobretudo os teores de argila e silte (Tabela 1) que foram semelhantes nas camadas avaliadas (LIMA et al., 2014).

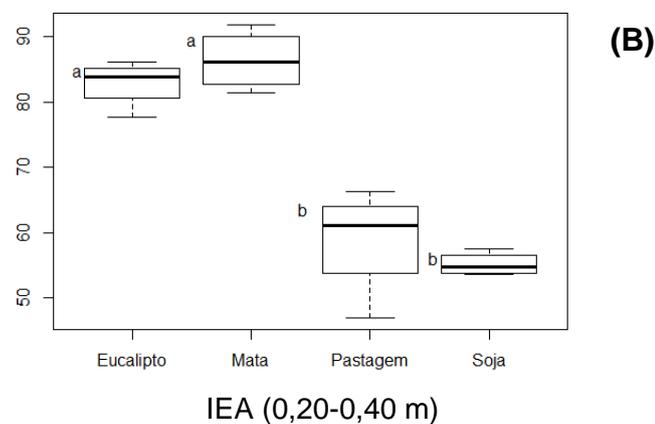
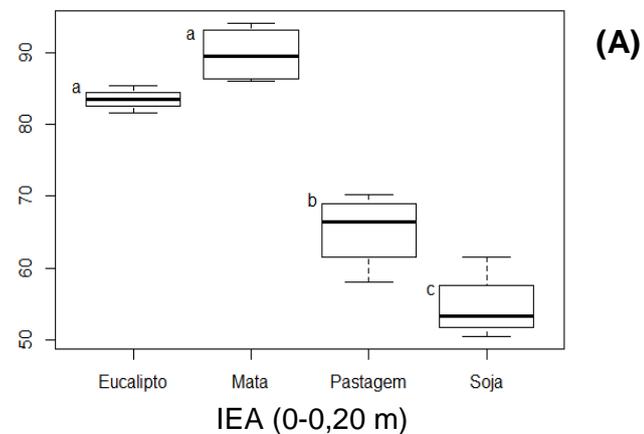




**Figura 6** - Microporosidade (Mip) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.3 Agregação do solo

Em relação à estabilidade de agregados, houve interação entre os tipos de uso e as profundidades (Figura 7).



**Figura 7-** Índice de estabilidade de agregados (IEA) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

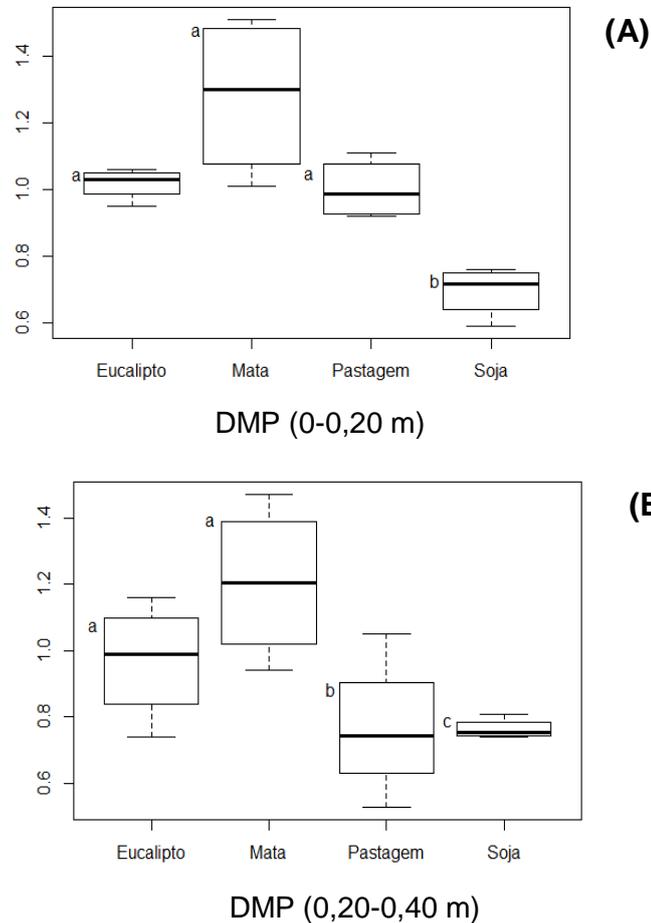
Geralmente solos de mata nativa apresentam maior conteúdo de matéria orgânica e estabilidade de agregados (SECCO et al., 2005; SILVA et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2005), em decorrência do maior aporte de material vegetal sem interferência de qualquer forma de cultivo. Já em sistemas de manejo com grande movimentação do solo por vários anos, resulta na destruição de agregados estrutura da original do mesmo, reduzindo a estabilidade de agregados, conforme verificado no sistema com soja. No caso do eucalipto, a implantação deu-se por cultivo mínimo onde após a derrubada da mata nativa, as operações com máquinas agrícolas resumiram-se à subsolagem e à gradagem da área antes e após o plantio, respectivamente, assim, não apresentou diferença estatística com a MN.

As gramíneas, onde se inclui a Braquiária, apresentam um efeito agregante do sistema radicular propiciando a formação de agregados mais estáveis (KASPER et al., 2009). Ademais, as gramíneas são eficientes em aumentar a ação de microrganismos por apresentarem sistema radicular fasciculado extenso e renovado constantemente na camada superficial visto que o pastejo provoca a morte de raízes absorventes das plantas. Isto resulta em maior entrada de carbono via rizosfera e necromassa, favorecendo a ativação da microbiota do solo (CARNEIRO et al., 2008) e a agregação do mesmo.

Valores mais altos de DMP caracterizam solos mais agregados, e neste estudo seguiram a ordem decrescente: mata > eucalipto > pastagem > soja (Figura 8). Várias pesquisas realizadas em áreas de cerrado evidenciaram que o intenso revolvimento do solo com a combinação de aração e gradagens visando criar condições físicas favoráveis ao desenvolvimento de raízes da soja comprometem a estabilidade de agregados e a redução do DMP (ARAUJO, et al., 2010; IBIAPINA et al., 2014; CORREIA, 2002).

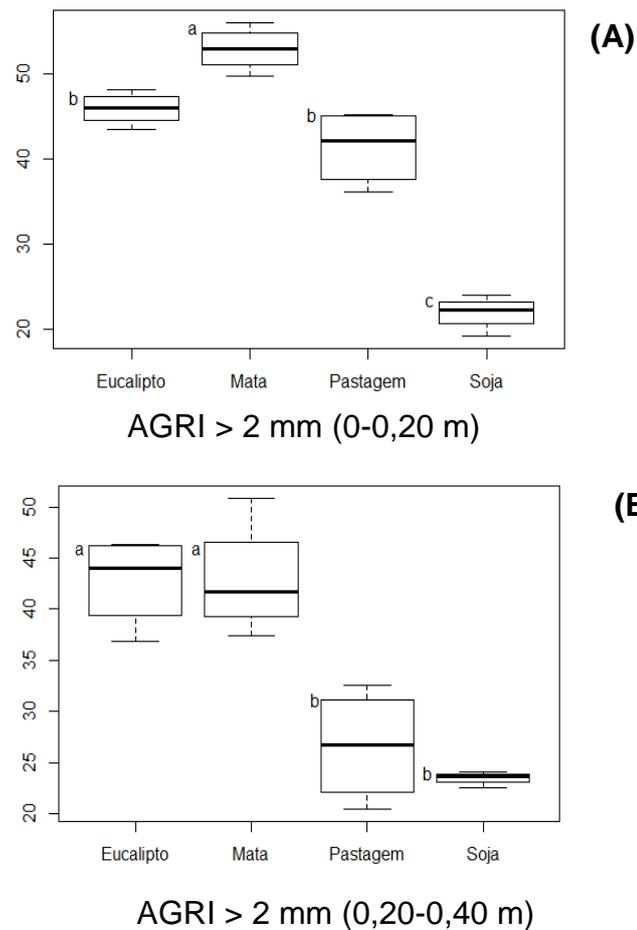
A partir da profundidade 0,20 m houve uma tendência de ocorrerem valores menores de DMP no solo sob PAS. Esse resultado provavelmente se deve a menor ocorrência de raízes nesta profundidade no solo com PAS, em

relação à MN e EP. Verificou-se que o índice DMP foi sensível às alterações ocorridas com o uso do solo.



**Figura 8-** Diâmetro médio ponderado (DMP) na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 9 verificam-se a porcentagem de agregados maiores que 2 mm. As maiores porcentagens de agregados da classe > 2 mm foram observadas nas coberturas sob mata na camada superficial e mata e eucalipto na camada 0,20 – 0,40m, indicando um efeito positivo do acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo sobre essa variável. Solo sob florestas, em geral, mostram maior estrutura conectada a um maior conteúdo de material orgânico, em função de um aporte de resíduos vegetais incorporados ao solo em quantidade e qualidade, bem como a existência de condições climáticas que favorecem o desenvolvimento de vegetação (WENDLING et al., 2012).

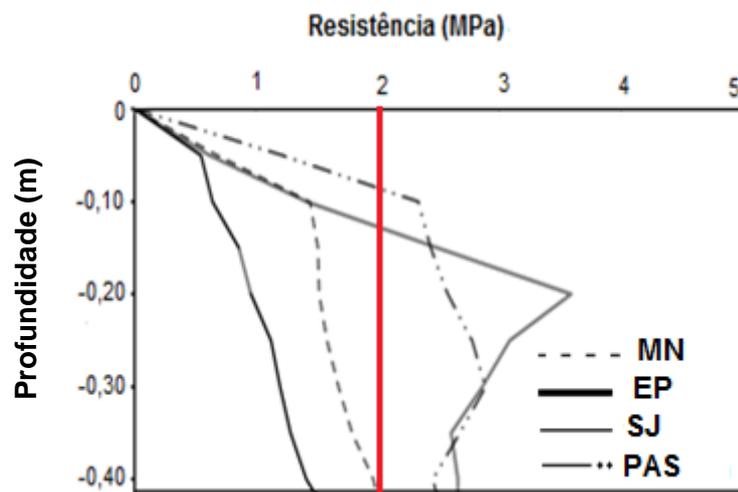


**Figura 9-** Porcentagem de agregados maiores que 2 mm na camada de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O sistema de manejo com pastagem mostrou valores intermediários na camada superficial e área com soja apresentou os menores valores nas duas camadas. Para Loss et al., (2011), o uso de Braquiária propicia uma boa cobertura vegetal ao solo, o que impede ou diminui a ação direta das gotas de chuva sobre os agregados. Dantas et al. (2012) constataram que o cultivo anual resulta em maior degradação física do solo, se comparado ao cultivo perene, em função da redução na condutividade hidráulica no solo e na estabilidade de agregados maiores que 2,0 mm, com elevação nos valores de densidade do solo.

### 3.4 Resistência à penetração (RP)

Em relação à resistência do solo à penetração (RSP), verificou-se um aumento abrupto do valor após a camada de 0,10 m de profundidade para o sistema de manejo pastagem e soja (Figura 10).



**Figura 10-** Resistência do solo à penetração (RP) obtidas em Latossolo Amarelo e valor limitante para o crescimento das culturas de 2 MPa (linha vermelha). MN: mata nativa, EP: eucalipto, SJ: soja, PAS: pastagem.

A partir desta profundidade os valores de RSP verificados nesses sistemas foram superiores ao limite de 2,0 MPa, considerado por USDA (1993) como restritivo ao desenvolvimento de raízes. Pesquisa realizada em um Latossolo argiloso por Silva et al., (2000) revelaram que a produtividade máxima da soja esteve associada à RSP de 1,80 MPa, valores estes bem inferiores aos encontrados na RP da soja neste trabalho. Tal aspecto está relacionado ao sistema de manejo convencional, visto que operações com máquinas agrícolas pesadas, realizadas continuamente em áreas de culturas anuais, proporcionam a compactação do solo devido às pressões exercidas, além da ação do arado que vai normalmente até a profundidade de 0,20 m (BEUTLER et al., 2001).

Em alguns estudos, tem-se observado que sistemas de manejo convencional mostram alta e muito alta RSP, sobretudo em períodos longos de uso do solo. Ramos et al., (2011), estudando uma área de cerrado nativo com plantio de soja de modo convencional, com arado de disco e por plantio direto por sete anos consecutivos, obtiveram valores de RSP compreendidos na classe alta, a partir de 0,20 m para plantio convencional e na camada de 0,25

m no manejo convencional, com arado de disco. Os autores atribuíram esses valores aos elevados ao tráfego de máquinas e ação do arado de disco sempre na mesma camada, além do tempo de condução do experimento.

Por outro lado, as áreas com EP e MN mostraram uma menor RSP com valores abaixo de 2,0 MPa em todo o perfil que os enquadra na classe baixa, dessa forma, as raízes não encontraram restrições ao crescimento, em função de uma homogeneidade das propriedades do solo dessas áreas provavelmente pela maior quantidade e qualidade de material orgânico incorporado ao solo preservando a estrutura nessas áreas. Além disso, a escarificação realizada no sistema com eucalipto por ocasião do plantio seguramente contribuiu para valores de RSP menores aos da mata nativa. Estudo realizado por Prevedello et al. (2013) mostraram que a escarificação na profundidade de 0,30 m realizada em plantio de eucalipto resultou em valores de RSP enquadrando na classe baixa em todo o perfil que favoreceu um maior aprofundamento e densidade de raízes.

### **3.5 Análise multivariada**

A correlação das variáveis (Tabela 4) permitiu uma caracterização das variáveis. Foi utilizado a primeira e a segunda componente principal, para explicar no mínimo 70% da variância total, a partir dos autovalores obtidos da matriz de covariância, com valores maiores que 1. Os autovetores apresentados na tabela 4 correspondem às duas principais componentes, os sinais positivos ou negativos, indicam se as relações são diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente.

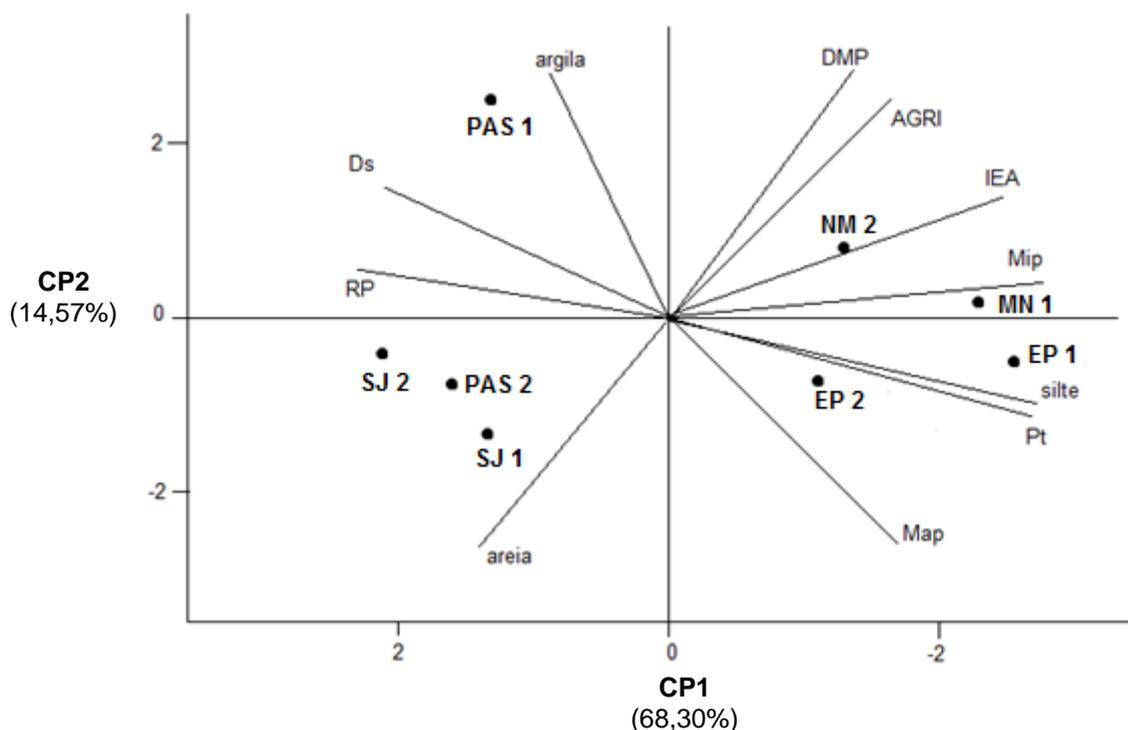
**Tabela 4-** Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP) obtidos a partir de todos os atributos analisados.

| Variáveis                | Componentes principais |         |
|--------------------------|------------------------|---------|
|                          | CP1                    | CP2     |
| Densidade do solo        | -0,3264                | 0,1048  |
| Porosidade total         | 0,3341                 | -0,1061 |
| Macroporosidade          | 0,271                  | -0,4461 |
| Microporosidade          | 0,306                  | 0,0297  |
| IEA                      | 0,3466                 | 0,1367  |
| DMP                      | 0,288                  | 0,368   |
| Agregados > 2 mm         | 0,3194                 | 0,3481  |
| Resistência à penetração | -0,3438                | 0,0363  |
| Areia                    | -0,253                 | 0,3162  |
| Silte                    | 0,2952                 | -0,8552 |
| Argila                   | -0,2005                | 0,6275  |

A primeira componente principal foi representada por autovetores positivos e apenas 4 negativos. Observa-se a influência da maioria das variáveis no eixo da CP1. Constatou-se também a influência da densidade do solo e resistência à penetração no eixo da CP1 como autovetores negativos. Na segunda componente principal, observou-se a maioria dos autovetores positivos, dando-se destaque para a argila, no eixo do CP2 e para os autovetores negativos destaca-se o silte.

Quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que as duas primeiras componentes principais são responsáveis por 82,87% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 68,30% e 14,57%, respectivamente conforme a Figura 11, onde a distribuição espacial dos atributos físicos e das camadas de solos analisadas nas situações de uso está apresentada. De acordo com a análise multivariada dos dados obtidos, observou-se variação quanto à eficiência dos tratamentos nas duas profundidades.

Observa-se que o primeiro grupo, constituído isoladamente pela área de pastagem 1, posicionando-se no quadrante superior esquerdo. Esse grupo melhor correlacionou-se com a variável argila, densidade do solo e resistência à penetração. Essa correlação pode estar relacionada a uma maior compactação do solo o que se justifica pelo superpastejo na área, ocasionando compactação do solo nessa profundidade.



**Figura 11** - Análise de componentes principais (ACP) com base nos atributos físicos do solo. Ds = densidade do solo, Pt = porosidade total, Mip= micoporosidade, Map= macroporosidade, DMP = diâmetro médio ponderado IEA= índice de estabilidade de agregados; AGRI = percentagem de agregados estáveis na classe (>2mm), RP = resistência do solo à penetração. SJ 1, PAS 1, EP 1 e MN 1 correspondem à camada de 0-0,20 m e SJ 2, PAS 2, EP 2 e MN 2 à camada de 0,20-0,40 m.

O segundo grupo é formado pelas áreas de SJ 1, SJ 2 e PAS 2 posicionando-se no quadrante inferior esquerdo. Esse grupo se mostrou associado a variável areia. Observa-se que a variável Mip se encontra em quadrante oposto, pois apresenta correlação negativa com a areia, indicando que o aumento de uma implica diminuição da outra. Verifica-se ainda que a área de SJ 2 encontra-se associada a RP visto que essa camada mostrou valores elevados de densidade do solo e baixos de porosidade o que implica numa compactação do solo

O terceiro grupo, constituído dos sistemas com MN e EP, posicionou-se nos quadrantes superior e inferior direito e esteve associado à maioria dos atributos do solo relacionados com a agregação e porosidade do solo. Isto ocorre em função de maior aporte de resíduos orgânicos nesses sistemas que contribui para uma maior atividade biológica e, conseqüentemente, para uma

melhor estruturação. Pode-se observar que as variáveis Ds e Pt, por estarem situadas em quadrantes opostos, apresentam correlação negativa.

Por meio das técnicas de análise multivariadas, foi possível identificar quais variáveis mais se correlacionaram com cada tipo de manejo do solo e os efeitos na alteração nas características do solo.

#### **4. CONCLUSÕES**

O monocultivo anual resulta em maior degradação física do solo em relação ao monocultivo perene

O solo sob SJ e PAS mostram uma resistência à penetração acima do limite crítico de 0-0,10 m.

A análise multivariadas permitiu identificar as variáveis que se correlacionaram com cada tipo de manejo do solo e os efeitos na alteração nas características do solo.

## 5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: A ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade**, v. 8, p. 1-18, 2005.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relações 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**, v. 29, p. 415- 424, 2005.

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.717-723, 2010.

BEUTLER, A. N.; SILVA, N. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M.C.M. & TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.743-753, 2013.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, p. 363-375, 1986.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.621-632, 2008.

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

CORREA, J. C. Efeito de sistemas de cultivos na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, p.203-209, 2002.

DAL FERRO, N., SARTORI, L., SIMONETTI, G., BERTI, A., MORARI, F., Soil macro and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. **Soil Tillage Research**, p.140, v. 55–65, 2014.

DANTAS, J. D'A. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejos no perímetro irrigado de

Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.18- 26, 2012.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p. 212,1997.

FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; JUNIOR, J. A. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.146-151, 2009.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P. ; LIMA, M. G. ; SOARES, L. M. S . Resistência à penetração e agregação de Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado piauiense. **Científica**, v. 42, p. 411-418, 2014.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R.; LOPES, O. F.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório** – reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, p.782, 1986.

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

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 116-121, 2008.

KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 192-199, 2009.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Eds.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, p. 499-510, 1965.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Economica, p. 478, 1948.

LIMA, J. R. de S., SOUZA, E. S. de.; ANTONINO, ANTONIO C. D.; SILVA, I, de F da., CORRÊA, M, M.; LIRA, C. A. B. de O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, p.599-605, 2014.

LOSS, A; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, J. S.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, p. 260-268, 2012.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G; ASSIS JUNIOR, R. N. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1196-1206, 2013.

MORAES, M. T.; DEBIASIB, H.; CARLESSOC, R.; FRANCHINIB, J. C.; SILVA, V. R.; LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO R. E.; MARQUESJUNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1103-12, 2013.

PREVEDELLO, J., KAISER, D. R., REINERT, D. J., VOGELMANN, E. S., FONTANELA, E., REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em argissolo. **Ciência Florestal**, v.23, p.129-138, 2013.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Áustria, 2015.

RAMOS, F. T.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T.; MAIA, J. C. S. Atributos físicos e microbiológicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.6, p.79-91, 2011.

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.472-479, 2013.

REYNOLDS, W.D., DRURY, C.F., YANG, X.M., FOX, C.A., TAN, C.S., ZHANG, T.Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil Tillage Residue**, v.96, p.316-330, 2007.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K. & FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas de um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J.G. S. M. & CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p.97-103, 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.191-199, 2000.

**Statistical Analysis System (SAS)** for Windows version 9.2. Institute Inc., Cary, NC, USA).

SCHJØNNING, PER.; LAMANDE, MATHIEU. A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. **Soil & Tillage Research**, v. 108, p. 77–82, 2010.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. Campinas, **Revista brasileira de Ciência Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

USDA, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, p. 437, 1993.

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

## CAPÍTULO 2

### ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES MONOCULTURAS NO CERRADO PIAUIENSE

Autor: Maristella Moura Calaço Pessoa

Orientador: Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes

#### RESUMO

A biomassa microbiana é um componente importante para manter a qualidade do solo e a produtividade das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos microbiológicos e na matéria orgânica, em função da variação sazonal em diferentes monoculturas no Cerrado piauiense. O estudo foi realizado na Fazenda Real Chapada Grande, situada no município de Regeneração, PI. Amostras de solo foram coletadas em áreas de soja (SJ), eucalipto (EP), pastagem (PAS) e em uma área de mata nativa (MN) de Cerrado preservado na profundidade de 0-0,20 m, durante o período chuvoso (fevereiro/2015) e seco (setembro/2015). A partir dessas amostras avaliaram-se as propriedades microbiológicas, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ) e o carbono orgânico total do solo (COT). O CBM diferiu significativamente entre os sistemas avaliados, com maiores valores no solo sob vegetação nativa nos dois períodos de amostragem. A respiração basal assim como valores de  $qCO_2$  diferiram entre os sistemas apenas no período seco. Para o quociente microbiano, a área com SJ apresentou menores valores nos dois períodos em comparação às demais áreas. O COT apresentou diferença significativa entre os sistemas, com maiores valores na MN e SJ no período chuvoso. O sistema que sofreu queimada (EP) não favorece a manutenção da comunidade de microrganismos no solo. Os resultados demonstram que o tipo de cobertura vegetal, o sistema de manejo e a sazonalidade influenciam o comportamento das propriedades biológicas do solo.

**Palavras-chave:** Biomassa microbiana, Sazonalidade, Carbono microbiano

## CHAPTER 2

### ATTRIBUTES BIOLOGICAL OF A OXISOL YELLOW UNDER MONOCULTURES DIFFERENT IN SAVANNA PIAUIENSE

Author: Maristella Moura Calaço Person

Advisor: Luis Alfredo Leal Pinheiro Nunes

#### ABSTRACT

The microbial biomass is an important component to maintain soil quality and productivity of plants. The objective of this study was to evaluate changes in microbiological attributes and organic matter, due to the seasonal variation in different monocultures in Piauí Cerrado. The study was conducted at Fazenda Real Chapada Grande, located in the regeneration of town, PI. Soil samples were collected in soybean areas (SJ), eucalyptus (EP), pasture (PAS) and a native forest (MN) Cerrado preserved in the depth of 0-0.20 m during the rainy season ( February / 2015) and dry (September / 2015). From these samples evaluated the microbiological properties, microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (BR), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), microbial quotient ( $qMIC$ ) and the total soil organic carbon (TOC). The CBM differed significantly among the evaluated systems, with higher values in the soil under native vegetation in the two sampling periods. The basal respiration as  $qCO_2$  values differed between systems only in the dry season. For microbial quotient, the area with SJ showed lower values in both periods compared to other areas. The COT showed a significant difference between the systems, with higher values in MN and SJ in the rainy season. The system suffered burned (EP) does not favor the maintenance of microorganisms in the soil community. The results demonstrate that the type of vegetation, the management system and seasonal influences the behavior of the biological properties of the soil.

**Keywords:** Microbial biomass, Seasonality, microbial carbon

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos sob Cerrado do Piauí, nas últimas três décadas vêm sendo, gradativamente, explorados com culturas anuais, pastagens e, mais recentemente, reflorestamentos. O manejo adequado dos solos é o fator primordial a ser considerado quando se almeja a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois o preparo do solo e os sistemas de culturas interferem nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A implantação de culturas feita através de manejo convencional tem como característica principal o revolvimento do solo por meio de operações de aração e gradagem, com a incorporação dos resíduos vegetais. Nesse sistema de manejo o solo torna-se mais exposto ao ambiente, uma vez que são rompidos os macroagregados do solo, resultando na perda de matéria orgânica e redução da atividade biológica alterando drasticamente os indicadores de qualidade do solo.

Embora a contribuição para o aumento de rendimento e produtividade seja evidente a partir deste tipo de manejo, a mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações profundas nos atributos de qualidade do solo (COSTA et al. 2006, CARNEIRO et al. 2009). Para inferir sobre o impacto de práticas de manejo sobre a qualidade do solo recomenda-se o monitoramento de indicadores físicos, químicos e biológicos do solo. Entre os indicadores de qualidade de solo os indicadores microbianos merecem especial atenção já que mostram uma grande sensibilidade ao manejo do solo ou pressões ambientais, visto que os microrganismos e suas interações são fundamentais para diversos processos e funções, incluindo decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, mineralização do N, formação da estrutura do solo, controle de pragas e biorremediação de contaminantes (PULEMAN et al., 2012; MARINARI et al., 2006).

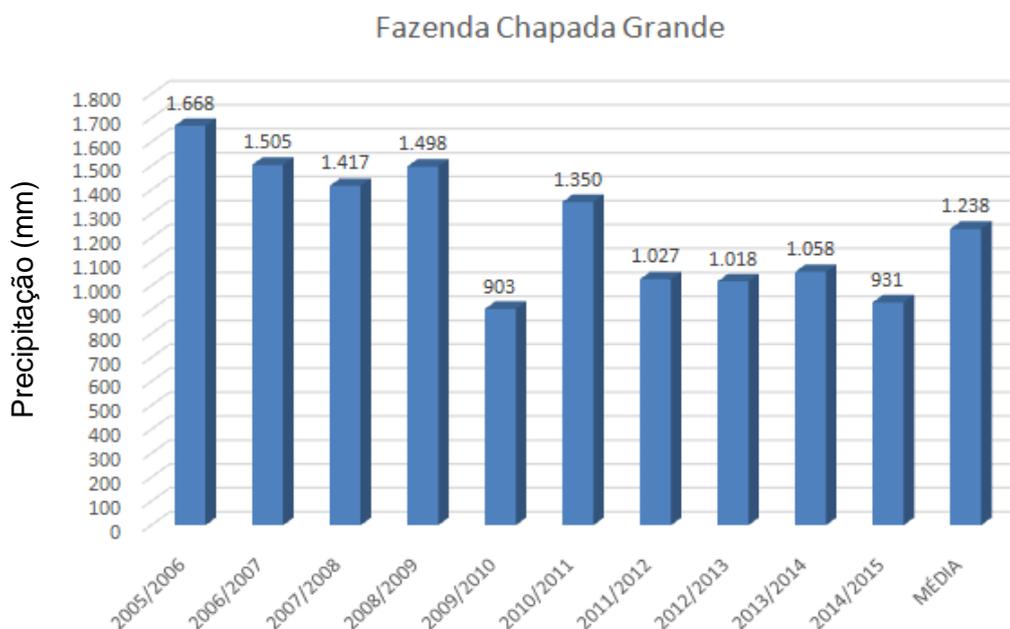
A perda de qualidade biológica do solo causada pela expansão, intensificação e mecanização da agricultura tem sido identificada como um dos principais problemas em todo o mundo em função diminuição de matéria orgânica, compactação, contaminação, salinização e as alterações climáticas mudança na conversão da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária (CREAMER et al., 2010; GARDI et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações microbiológicas do solo, assim como o teor de matéria orgânica, sob diferentes monoculturas e em diferentes períodos em um LATOSSOLO AMARELO Distrófico.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

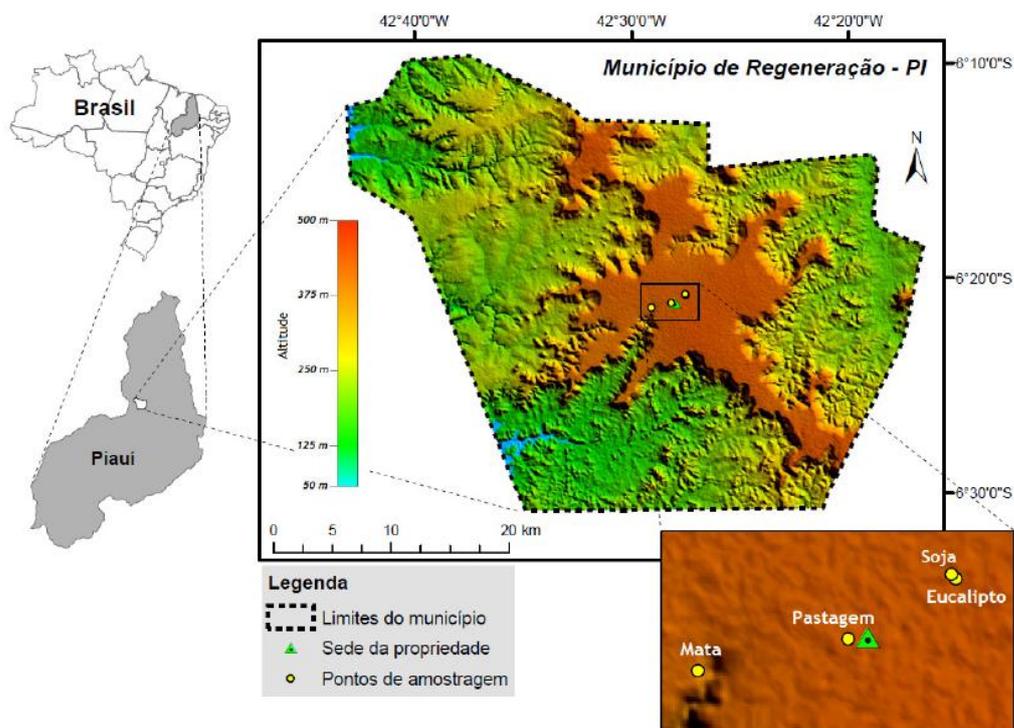
### 2.1 Localização e descrição geral da área

O estudo foi realizado na Fazenda Chapada Grande, situada no município de Regeneração/PI, aproximadamente 20.000 ha, com altitude de 400 m, coordenadas geográficas (06° 14' 16" latitude Sul e 42° 41' 18" longitude Oeste). O clima, segundo a classificação climática de Köppen (1948) é do tipo Aw (tropical chuvoso). A região apresenta temperatura média anual de 26,4 °C e a precipitação com chuvas distribuídas de outubro a maio com média nos últimos dez anos de 1.238 mm (Figura 1).



**Figura 1-** Precipitação pluviométrica acumulada para os anos de 2005 a 2015. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Fazenda Real Chapada Grande - PI.

Foram escolhidas quatro áreas adjacentes (Figura 2), em plantação de eucalipto, soja, pastagem e como referência foi utilizada uma mata de Cerrado.



**Figura 2-** Localização dos pontos de coleta de amostras de solo na Fazenda Real Chapada Grande, Regeneração/PI. Fonte: Fgandara.

As áreas foram escolhidas utilizando como critérios a proximidade das culturas desejadas e por apresentarem a mesma classe de solo. Em cada área foram demarcadas parcelas de 100 m<sup>2</sup> georreferenciadas onde foi coletado o solo. Na tabela 1 encontra-se o histórico de usos das áreas estudadas.

**Tabela 1** - Histórico do manejo e adubação das áreas.

| Área             | Histórico  |
|------------------|--|
| <b>Eucalipto</b> | Área com plantio de Eucalipto (MA 2000) feito após a derrubada de mata de cerrado com enleiramento e queima dos galhos e folhas. O preparo inicial do solo consistiu em gradeamento e sulcamento para plantio, incorporação de 4 t ha <sup>-1</sup> de calcário e 400 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo. O plantio de eucalipto foi realizado em 2008, utilizando-se de espaçamento de 3,5 x 2,5 m. Procedeu-se a uma adubação de cobertura com NPK formula 10-20-10, com 150 kg pé <sup>-1</sup> . Foram realizadas as seguintes operações: subsolagem na ocasião do preparo de solo, capina manual na área, 2 meses após o plantio e gradagem entre linhas, 3 meses após o plantio. Esta área sofreu queimada um mês antes da segunda coleta de solo no período seco. |
| <b>Soja</b>      | Área cultivada com arroz antes do cultivo com soja. O preparo inicial do solo consistiu em aração, sulcamento, catação de raízes e incorporação de 4 t ha <sup>-1</sup> de calcário e adubação de 250 kg ha <sup>-1</sup>  |

|                    |  |
|--------------------|--|
|                    | de NPK fórmula 0-20-10. Utilizou-se manejo convencional até o ano de 2012. A partir de 2013 utilizou-se o plantio direto.  |
| <b>Pastagem</b>    | Área cultivada com soja sob manejo convencional a partir de 2008. A partir de 2011 passou a ser cultivada com <i>Bachiaria brizanta</i> utilizando-se o manejo idêntico a área com soja. Área com lotação de 20 UA animal. A pastagem passa 8 meses sendo utilizada pelo gado e 4 meses em descanso. |
| <b>Mata nativa</b> | Área sob cerrado <i>stricto sensu</i> , com vegetação original e sem interferência antrópica utilizada como referência.  |

O solo da área em estudo foi classificado como um Latossolo Amarelo Distrófico (JACOMINE, 1986) de textura argilosa (Tabela 1).

**Tabela 2-** Composição granulométrica dos solos sob diferentes monocultivos na camada de 0-0,20 m.

| Sistema                   | Granulometria (g kg <sup>-1</sup> ) |       |        | Classe textural |
|---------------------------|-------------------------------------|-------|--------|-----------------|
|                           | Areia                               | Silte | Argila |                 |
| Profundidade (0 - 0,20 m) |                                     |       |        |                 |
| Soja                      | 367                                 | 192   | 441    | Argilosa        |
| Eucalipto                 | 224                                 | 373   | 403    | Argilosa        |
| Pastagem                  | 273                                 | 219   | 508    | Argilosa        |
| Mata Nativa               | 288                                 | 280   | 432    | Argilosa        |

Fonte: Laboratório de Análise de Solo - LASO.

As amostras de solo foram coletadas nos meses de fevereiro e setembro de 2015 na camada de 0-0,20 m com 10 repetições em cada área. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com respirador e transportadas em caixas de isopor com gelo até o Laboratório de Análise de Solos (LASO) sob refrigeração para posterior análise.

## 2.2 Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (WALKLEY-BLACK), conforme Tedesco (1995) na presença de ácido sulfúrico concentrado tendo a quantificação do

carbono realizada pela titulação com sulfato ferroso amoniacal, tendo como indicador a ferroína.

### **2.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM)**

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998). O carbono foi extraído das amostras irradiadas e não irradiadas com  $K_2SO_4$ . As amostras foram agitadas por 30 minutos, procedendo-se a filtração e oxidação com dicromato de potássio. A quantificação do carbono foi realizada pela titulação com sulfato ferroso amoniacal usando o ferroin como indicador. O carbono extraído foi convertido em carbono microbiano. A partir dos valores do CBM e do conteúdo de COT, foi calculado o quociente microbiano ( $qMIC$ ).

### **2.4 Respiração basal (RB)**

A atividade microbiana do solo foi avaliada mediante determinação da respiração do solo que estima a quantidade de carbono emitido na forma de  $CO_2$  pela respiração de microrganismos heterotróficos do solo. A respiração do solo foi estimada pela quantificação do  $CO_2$  liberado durante sete dias de incubação do solo em sistema fechado. O  $CO_2$  produzido foi capturado em solução de NaOH ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e posteriormente titulado com HCL ( $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ), conforme ALEF & NANNIPIERI, (1995). O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) que representa a respiração microbiana por unidade de biomassa (ANDERSON e DOMSCH, 1993) foi determinado pela razão entre o C- $CO_2$  liberado pela respiração e o CBM.

### **2.5 Análise estatística**

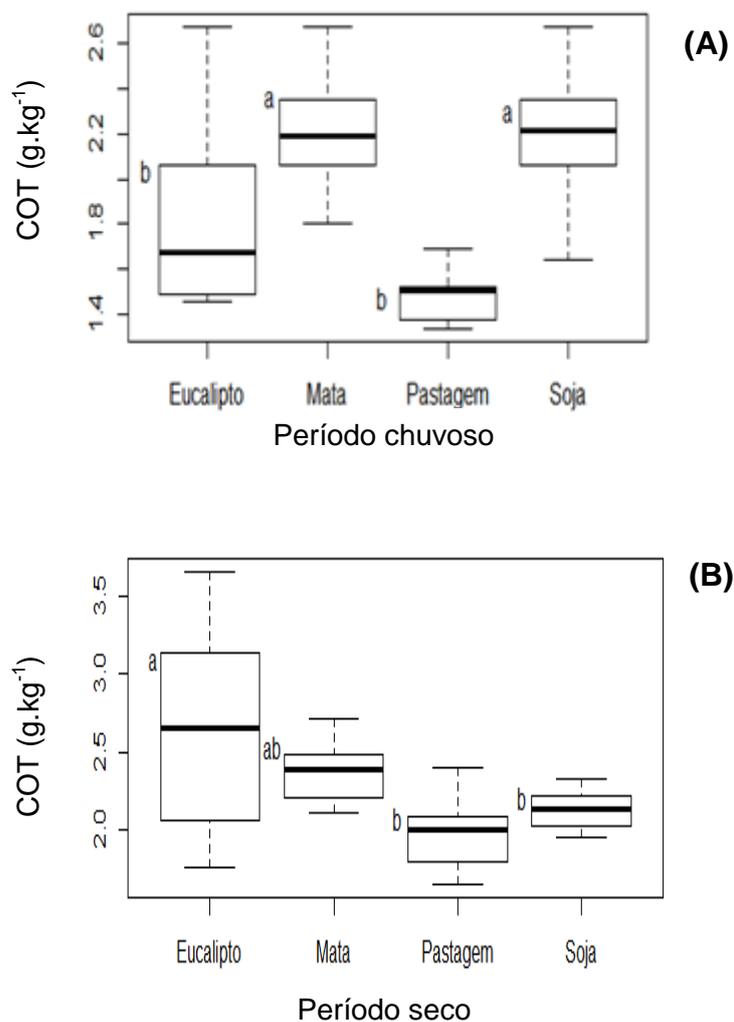
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e ao teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade. Para a confirmação ou rejeição da hipótese estatística, foi utilizado o pacote estatístico R Statistical 7.5 beta (2015).

Foram empregadas também técnicas multivariadas de análises de componentes principais (ACP), para o entendimento de como as variáveis interagiram ao mesmo tempo, utilizando o programa estatístico SAS 9.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Carbono orgânico total (COT)

Os resultados obtidos na análise do carbono orgânico total (COT) diferiram entre as áreas em estudo, sendo os maiores valores encontrados nas áreas de SJ (2,16 g/kg) e de MN (2,20 g/kg), no período chuvoso e MN (2,38 g/kg) e EP (2,69 g/kg) no período seco (Figura 3).



**Figura 3-** Carbono Orgânico Total (COT) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de COT na área de MN estão relacionados à associação de plantas rasteiras e arbóreas nesse ambiente e ao constante aporte e acúmulo de resíduos vegetais (folhas, galhos e raízes, por exemplo),

associados à sua qualidade (serapilheira menos lignificada), mantendo o estado estável nas adições e perdas de carbono orgânico (LOSS et al., 2012; BEZERRA et al., 2013).

No entanto, a substituição da vegetação do Cerrado por monocultivos normalmente ocasiona perdas significativas de carbono orgânico em diferentes graus de intensidade conforme o manejo do solo em relação à MN. Maiores valores de COT no sistema com soja sob plantio direto pode ser explicado pela matéria orgânica que se acumulada nesta camada, provenientes da decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo e das raízes da soja que se acumularam.

As reduções nos teores de COT no sistema com pastagem estão associadas ao manejo inadequado, principalmente pela ausência de adubações de manutenção, e, sobretudo, pelo uso do solo com superpastejo, o que determina à degradação da pastagem, conforme também observado por Jakeilats et al. (2008).

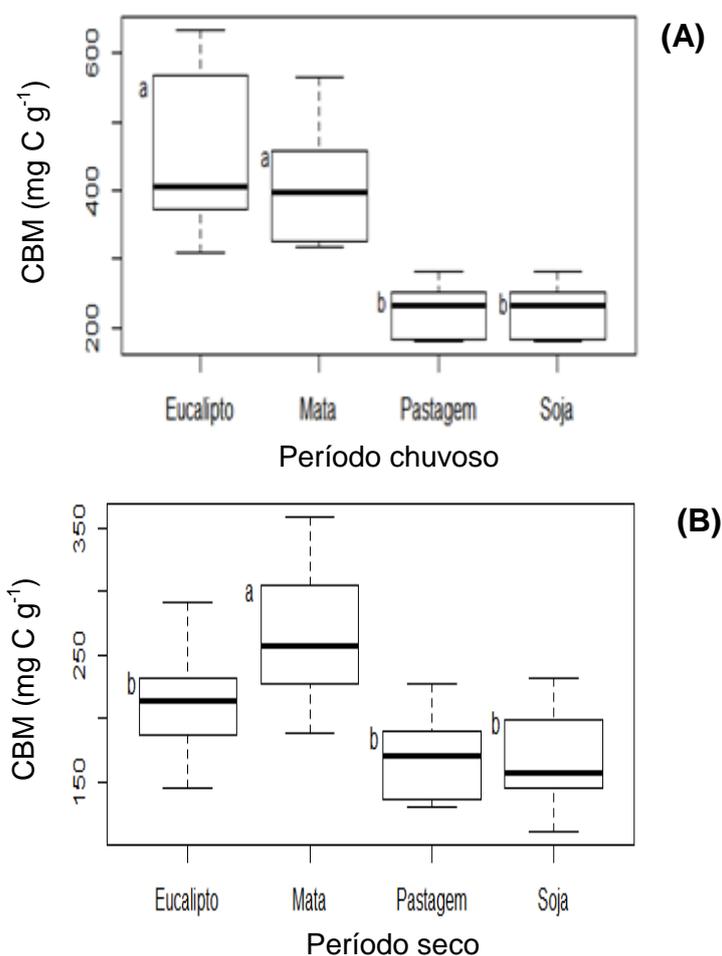
Por sua vez, o eucalipto apresenta os resíduos orgânicos com uma alta relação C/N, de 30 a 100, de acordo com a parte da planta estudada e altos teores de lignina e polifenóis que contribui para lenta decomposição do resíduo (PULRONIK, et al., 2009), o que pode ter contribuído para uma redução desta variável no período úmido. Por outro lado, os valores mais elevados neste sistema de manejo no período seco pode ser atribuído ao fato de ter ocorrido uma queimada na área antes da segunda coleta de solo. Pesquisa realizada por Nunes et al. (2006) evidenciaram que solos que sofreram queimadas recentes apresentaram valores de COT semelhantes à mata.

### **3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM)**

Verificaram-se maiores valores de CBM em solos de MN (232,7 mg C g<sup>-1</sup>) e EP (199,5 mg C g<sup>-1</sup>) no período chuvoso e MN (267,5 mg C g<sup>-1</sup>) no período seco, indicando a ocorrência de efeitos adversos da monocultura de SJ e PAS sobre a biomassa microbiana do solo (Figura 4). A área de MN por se tratar de um sistema sem interferência antrópica e com manutenção do solo coberto

pela liteira durante a época seca, conservando a umidade, pode ter contribuído para maiores valores de CBM nesse período.

Quando se estuda a comunidade microbiana em solos de vegetação nativa, já se espera encontrar valores relativamente maiores quando comparados a solos com outros tipos de cobertura vegetal como os solos cultivados, já que a microbiota é favorecida pela cobertura do solo que propicia maior acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da microbiota (ALVES et al., 2011), além do fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação (CUNHA et al., 2012).



**Figura 4-** Carbono da biomassa microbiana (CBM) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores teores de CBM foram observados na mata e eucalipto no período úmido em relação à soja e pastagem. A mata de cerrado indica uma condição mais favorável à microbiota do solo que possivelmente pode ser atribuída, ao maior aporte contínuo e variado de substratos orgânicos provenientes da maior diversidade de espécies nessa área. Por sua vez, estudos realizados por Cortez et al., (2014), mostraram que no quarto ano de cultivo o eucalipto pode produzir até 5,20 toneladas de serrapilheira por hectare fator que pode ter proporcionado certas condições ambientais que favoreceu a manutenção do CBM em valores iguais ao da mata nativa de cerrado.

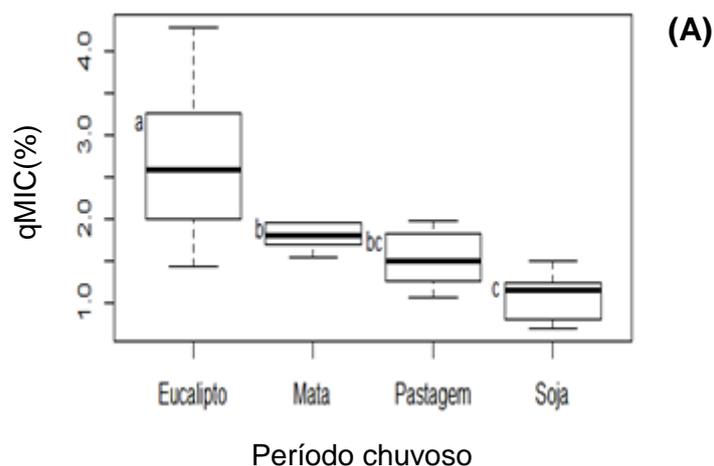
No entanto no período seco o valor dessa variável no eucalipto não diferiu da soja e pastagem. A queimada ocorrida nessa área comprova que a influência do fogo provoca destruição da biomassa microbiana do solo por ser muito sensível às alterações nas formas de carbono orgânico do solo, Esse fato comprovado por Nunes et al. (2006) que trabalhando em um ARGISSOLO, encontraram na mata natural e em uma área com cinco anos de pousio maiores valores de carbono da biomassa (416 e 438 mg g<sup>-1</sup> de CBM) respectivamente, enquanto que o tratamento que sofreu queimada apresentou o menor valor ( 87 mg g<sup>-1</sup> de CBM).

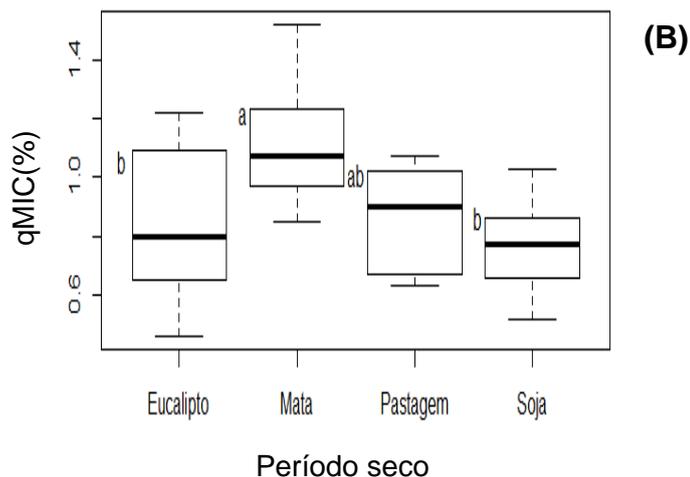
Por outro lado, as áreas com pastagem e soja apresentaram menores valores de CBM nos dois períodos. O desmatamento de vegetação nativa diminui a diversidade de plantas impactando a biomassa microbiana. Esse impacto pode ser atribuída a diferenças na quantidade e qualidade de recursos que entra no compartimento abaixo do solo na forma de palha e de raiz exsudato, fontes de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana. Isto acontece provavelmente porque as adições de carbono oxidável nesse sistema sejam insuficientes para atender a demanda energética da biomassa existente o que leva uma redução considerável dessa variável. Estudo conduzido por LEITE et al. (2010) demonstra que o sistema de plantio convencional contribui para reduzir a densidade e diversidade dos microrganismos do solo, resultando em menores concentrações de CBM, em função da quebra da estrutura do solo e exposição da matéria orgânica protegida.

As variações na umidade do solo entre os sistemas e as diferentes épocas estudadas influenciou o comportamento dessa variável. No período de maior disponibilidade hídrica no solo observou-se um estímulo da atividade microbiana, expresso por maiores valores de CBM, contrastando com a época mais seca, corroborando a sugestão de que a biomassa microbiana funciona como um sensível indicador de variações ambientais, conforme estudos realizados por CASTELAN & VIDOR (1990).

### 3.3 Quociente microbiano (qMIC)

Nesse estudo o quociente microbiano (qMIC) foi influenciado pela época de coleta e diminuiu da época chuvosa para a seca. Os maiores valores absolutos de qMIC foram encontrados no solo do sistema com EP no período úmido 2,6% (Figura 5-A). Essa relação foi reportada como indicadora da qualidade da matéria orgânica do solo, e expressa a eficiência da biomassa diante das alterações dos processos no solo. Os sistemas agrícolas que exibem maiores valores dessa variável indicam condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou ausência de um fator limitante (CHAER ; TÓTOLA, 2007).





**Figura 5-** Quociente microbiano (qMIC) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

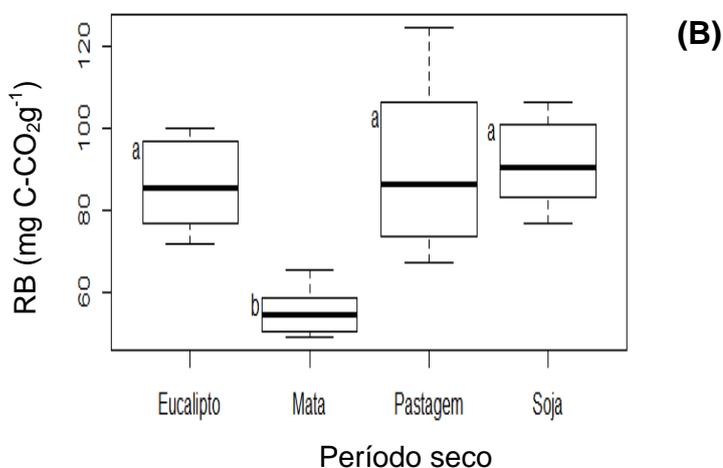
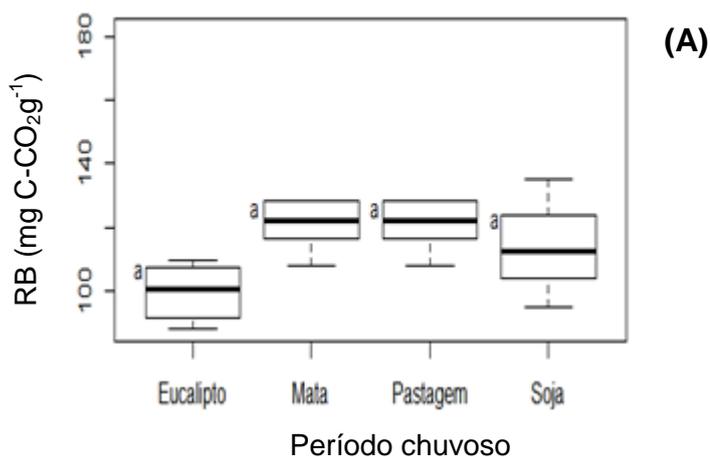
Neste trabalho, no período úmido, o sistema com eucalipto e sob mata nativa mostraram valores próximos ao padrão (2,2%) considerado por JENKINSON E LADD (1981) como o valor no qual estaria ocorrendo equilíbrio. Já no período seco, o solo sob eucalipto apresentou o menor valor absoluto de qMIC juntamente com os solos sob soja e pastagem, provavelmente em função da queimada sofrida. Valores de qMIC menores que 1.0, tal como encontrado nessas áreas no período de estresse hídrico indicam que a dinâmica da matéria orgânica é bem mais lenta nesses sistema. Resultados parecidos foram observados por Nunes et al. (2006) em solos sob caatinga que sofreram queimadas e foram cultivado com milho e feijão e por Geraldés et al. (1995) em pastagem com 15 anos em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

### 3.4 Respiração basal (RB)

Atividade respiratória não apresentou diferenças entre os sistemas estudados no período de boa disponibilidade hídrica (Figura 6-A). No período úmido não foi detectada diferenças significativas entre os sistemas quanto à atividade respiratória o que pode ser atribuído a boa umidade que favoreceu o desenvolvimento de microrganismos em todas as áreas. No período seco as maiores perdas de C-CO<sub>2</sub> por atividade microbiana ocorreram nos sistema de

SJ, EP e PAS, em que houve ação antrópica, o que poderia indicar um maior equilíbrio energético nesses sistemas (Figura 6 - B).

No entanto, várias pesquisas evidenciaram que valores elevados dessa variável pode ser resultante de um consumo intenso de C oxidável pelos microrganismos para sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa microbiana encontra-se sob condições de estresse (CORTEZ et al., 2014; ARAÚJO et al., 2010). Os maiores valores nos sistemas de SJ e PAS no período seco aparecem fortemente relacionados com a temperatura, uma vez que essas áreas se mostram com pouca cobertura vegetal e a radiação solar incide diretamente sobre o solo nessa época. Ademais, a baixa umidade presente nesses solos em função da ausência de chuvas nesse período é outro fator determinante para uma alta atividade respiratória nessas áreas.

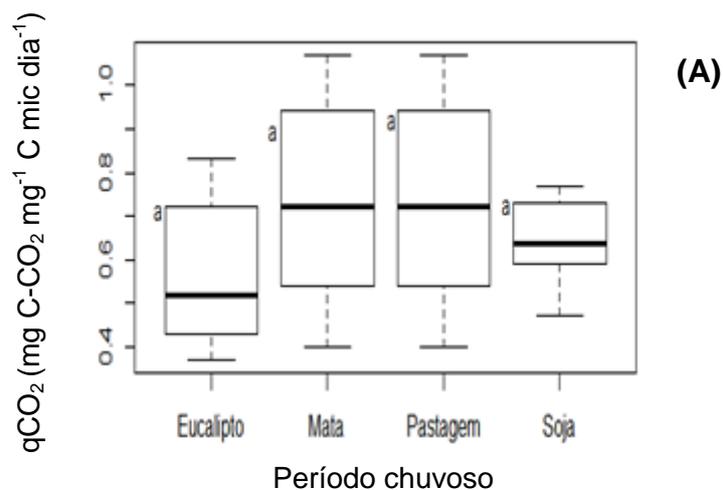


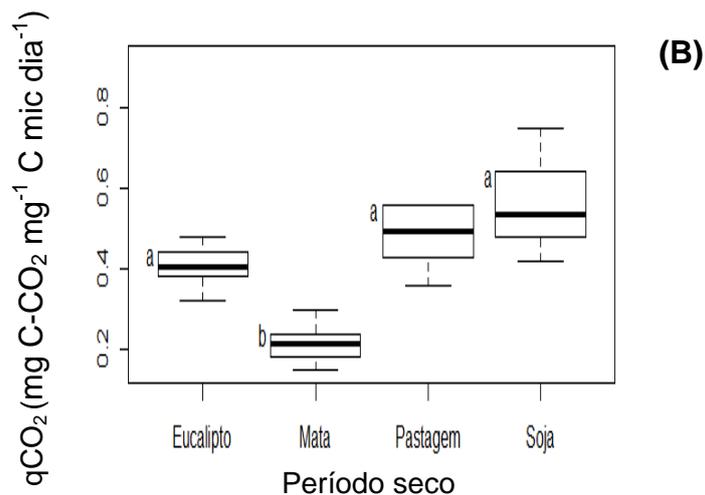
**Figura 6** -Respiração Basal (RB) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por sua vez, no monocultivo de EP a queima ocorrida no período seco seguramente mostrou-se deletéria, visto que aumentou a taxa respiratória da microbiota, elevando as perdas de C na forma de C-CO<sub>2</sub> nesse sistema conforme também observado por Baretta et al., (2005). No entanto, em muitos casos, não são detectadas diferenças entre solos degradados e preservados quando se avalia apenas a respiração. Para interpretar esses resultados foi determinado a taxa de respiração por unidade de biomassa, no caso o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e comparados entre os sistemas.

### 3.5 Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>)

Em relação ao quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), não foram observadas diferenças significativas entre as áreas, na época chuvosa (Figura 7). Já, no período seco percebe-se que a maior atividade de mineralização do C orgânico do solo ocorreu no sistema com soja, pastagem e eucalipto, em que houve ação antrópica. Maiores valores de qCO<sub>2</sub> indicam maiores perdas de C no sistema na forma de CO<sub>2</sub> por unidade de C microbiano (MELLONI et al., 2008).





**Figura 7** -Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) de um Latossolo no período chuvoso (A) e período seco (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Algumas pesquisas mostram que em situações de baixa umidade no solo (NUNES et al., 2009) e temperatura elevada (RHEINHEIMER et al., 2003), o  $qCO_2$  tende a aumentar, conforme ocorreu no período seco nos solos antropizados. Essa condição permite que uma população de microrganismos oportunistas, conhecidos como estrategistas “K”, que apresentam adaptações fisiológicas à capacidade de suporte do ambiente e, em consequência, mostra uma alta taxa reprodutiva, gerando maiores perdas de C no sistema na forma de  $CO_2$  (CHAER; TÓTOLA, 2007). Desta forma, teoricamente, os sistemas com MN e EP, onde aporta uma grande quantidade de serapilheira onde haveria uma condição de manter o solo mais úmido e com temperatura mais baixa, teria que apresentar valores mais baixos dessa variável. Isto não aconteceu no EP em função da queimada sofrida no período de baixa umidade.

### 3.6 Análise de componentes principais (ACP)

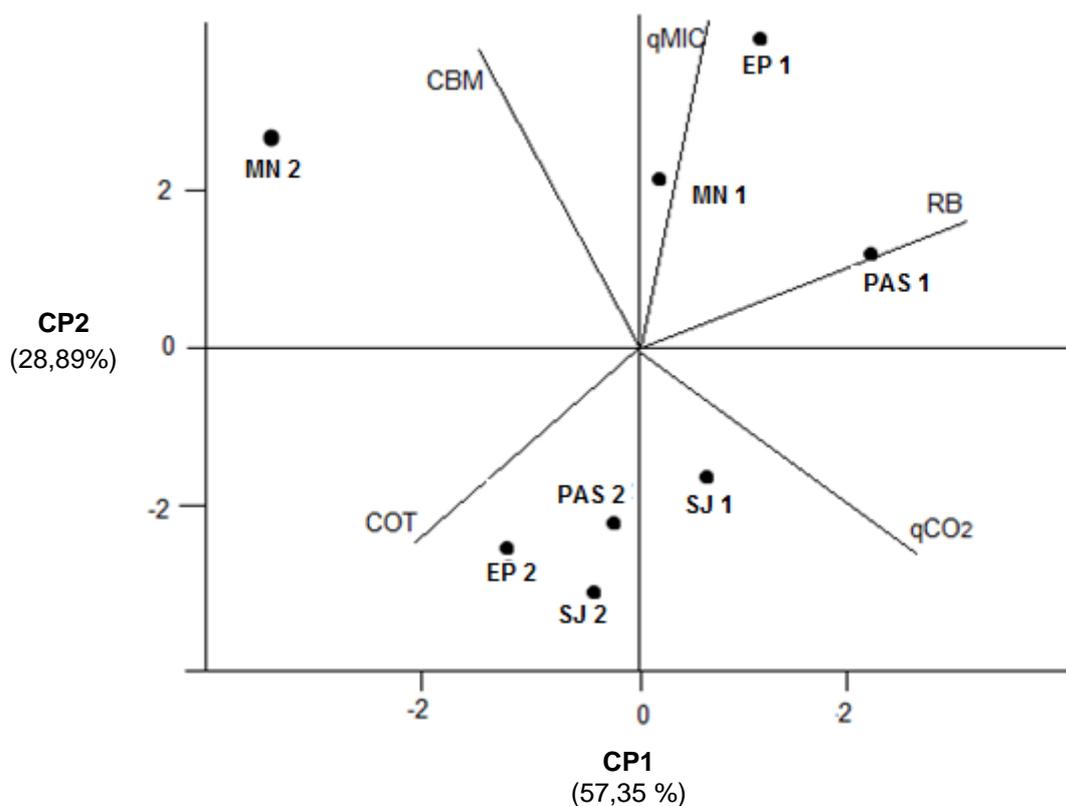
A análise de componentes principais (ACP) foi realizada na matriz de dados constituída de 5 variáveis. Quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que as duas primeiras componentes principais são responsáveis por 86,24% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 57,35% e 28,89%, respectivamente. Os autovetores apresentados na tabela 3 correspondem às duas principais componentes, os

sinais positivos ou negativos, indicam se as relações são diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente.

**Tabela 3-** Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP).

| Variáveis        | Componentes principais |         |
|------------------|------------------------|---------|
|                  | CP1                    | CP2     |
| CBM              | -0,3278                | 0,6441  |
| COT              | -0,4696                | -0,2329 |
| qMIC             | 0,2969                 | 0,6695  |
| RB               | 0,528                  | 0,0985  |
| qCO <sub>2</sub> | 0,5522                 | -0,2699 |

O diagrama mostra que o grupo constituído por SJ 1, posicionou-se no quadrante inferior direito e teve correlação com qCO<sub>2</sub>. O grupo formado por SJ 2, PAS 2 e EP 2 no quadrante inferior esquerdo mostrou-se associado com o carbono orgânico (COT) (Figura 8).



**Figura 8** - Análise de componentes principais (ACP) com base nas variáveis do solo nos diferentes tratamentos. SJ 1, PAS 1, EP 1 e MN 1 correspondem ao período chuvoso e Soja 2, PAS 2, EP 2 e MN 2 correspondem ao período seco.

O diagrama mostra que o grupo constituído por SJ 1, posicionou-se no quadrante inferior direito e teve correlação com  $qCO_2$ . O grupo formado por SJ 2, PAS 2 e EP 2 no quadrante inferior esquerdo mostrou-se associado com o carbono orgânico (COT).

Por sua vez, a MN 1, EP 1 e PAS 1 formaram um grupo no quadrante superior esquerdo. Verifica-se neste grupo que o EP e a MN estão fortemente associados ao  $qMIC$  e a PAS à respiração basal (RB). E por fim a MN 2 formou outro grupo isolado no quadrante superior esquerdo associado ao CBM. Nesses dois últimos grupos as principais variáveis biológicas (CBM e  $qMIC$ ) estiveram associadas à mata nativa nos dois períodos e eucalipto no período chuvoso o que parece ter relação ao maior aporte de resíduo vegetal depositados nesses tratamentos. Freitas et al. (2014), avaliando áreas manejadas, e comparando com áreas de mata nativa, encontraram uma maior relação das variáveis biológicas com áreas onde não houve a interferência antrópica e ação de maquinário agrícola, associado ao aporte de resíduos vegetais.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os sistemas de manejo e cobertura vegetal influenciam a biomassa microbiana do solo resultando em maior biomassa em áreas sob MN e EP.

Os diferentes períodos de amostragem influenciam as propriedades microbiológicas do solo nos sistemas, sendo que as áreas sob SJ e PAS apresentam maior vulnerabilidade a essas mudanças temporais.

O sistema EP que sofreu queimada contribuiu para uma redução drástica nos indicadores microbiológicos do solo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos dos sistemas de manejo do solo para as variáveis físicas do solo (granulometria, densidade do solo ( $D_s$ ), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA), porcentagem de agregados > 2mm (AGRI), porosidade total (PT), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip) e resistência à penetração (RP), e biológicos (carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ) e o carbono orgânico total do solo (COT) apresentaram interações significativas.

Os diferentes usos e manejo do solo afetam as propriedades físicas resultando na deterioração da qualidade nas áreas de Soja e Pastagem em comparação com a área de Mata nativa e cultivo mínimo com Eucalipto.

O manejo do solo em sistema convencional não promove a melhoria nas suas propriedades físicas o que foi observado nas áreas de SJ e PAS, o que contribui para uma exploração agrícola não sustentável do solo da área estudada.

## 6. REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, p.576, 1995.

ALVES, T dos S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p.341-347, 2011.

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

ARAÚJO, A.S.F. & MELO, W.J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2419-2426, 2010.

BARETTA, D.; J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 715-724, 2005.

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: Ciências Agrárias**, v.34, p.2637-2354, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. 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.

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

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

CORTEZ, C. T.; BARBOSA, L. R.; NUNES, L. A. P. L.L.; EISENHAUER, N.; ARAÚJO, A. S. F. Soil microbial properties in Eucalyptus grandis plantations of different ages. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.14, p.734-742, 2014.

CREAMER R. E, BRENNAN F, FENTON O, HEALY MG, LALOR STJ, LANIGAN GJ, REGAN JT, GRIFFITHS BS: Implications of the proposed Soil Framework Directive on agricultural systems in Atlantic Europe – a review. **Soil Use Management**, v. 26, p.198-211, 2010.

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

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, p. 56-63, 2012.

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

GARDI C, MONTANARELLA L, ARROUAYS D, BISPO A, LEMANCEAU P, JOLIVET C, MULDER C, RANJARD L, RO" MBKE J, RUTGERS M: Soil biodiversity monitoring in Europe: on going activities and challenges. **European Journal Soil Science**, v.60, p.807-819, 2009.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C. & FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 55-60, 1995.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, p. 408-416, 1998.

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

JENKINSON, D. S.; LADO, J. N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E. A; LAOO, J. N. ed. **Soil Biochemistry**, 5. New York: Mareei Deeker, p.415-471, 1981.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Economica, p.478, 1948.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R.; LOPES, O. F.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório** – reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, p.782, 1986.

LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R.; HOLANDA NETO, M.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1273-1280, 2010.

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 Journal of Agricultural Science**, v.4, p.96-105,2012.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**, v.6, p.701-711, 2006.

MELLONI, R.; PERREIRA, E. G. M. & ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário**, v. 29 p. 17-29, 2008.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENESES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Caatinga**, v. 19, p. 200-208, 2006.

PULLEMAN, M.; CREAMER, R.; HAMER, U.; HELDER, J.; PELOSI, C.; PÉRES, G.; RUTGERS, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches. **Environmental Sustainability**, v. 4, p. 529-538, 2012.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Áustria, 2015.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. 33, p. 49-55, 2003.

**Statistical Analysis System (SAS)** for Windows version 9.2. Institute Inc., Cary, NC, USA).

TEDESCO, M. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, 2 ed., p. 170, 1995.