



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

ANTONIO GUARANÁ MENDES

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO
ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MANEJO**

TERESINA – PI

2015

ANTONIO GUARANÁ MENDES

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO
ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MANEJO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Federal do Piauí, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Poliana Rocha D’Almeida Mota Soares

TERESINA-PI

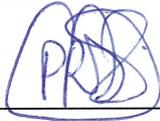
2015

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARALO
ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MANEJO

Antônio Guaraná Mendes
Engenheiro Agrônomo

Aprovado em 31 / 08 / 2015

Comissão Julgadora:



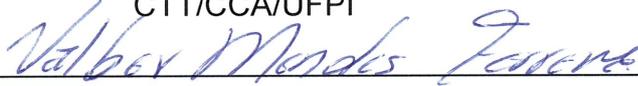
Profa. Dra. Poliana Rocha D'Almeida Mota Soares – Presidente

DEAS/CCA/UFPI



Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho – Membro Interno

CTT/CCA/UFPI



Prof. Dr. Valber Mendes Ferreira – Membro Externo

DEAS/CCA/UFPI

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal do Piauí

Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias

Serviço de Processamento Técnico

M438a Mendes, Antonio Guaraná.

Alterações nos atributos de um latossolo amarelo associados ao sistema de manejo / Antonio Guaraná Mendes. – 2015.

55 f. : il.

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

Orientação: Prof^a. Dr^a. Poliana Rocha D’Almeida Mota Suares.

1. Solo - Manejo. 2. Atributos físicos. 2. Cerrado. I. Título.

CDD: 631.45

À minhas esposa e filhas, Paloma, Leticia e Sophia.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado saúde e vitalidade para vencer os obstáculos e serenidade para escolher o melhor caminho.

À minha esposa Paloma de Medeiros Silva Mendes, pelo amor abnegado e pelo incentivo incessante diante das dificuldades, e por sempre confortar nos momentos em que duvidei de mim mesmo.

Às minhas filhas, Letícia e Sophia, por ser o meu maior legado, e por não me deixar esquecer jamais que tudo iria dar sempre certo.

Aos familiares, meus pais, Adão e Fátima, pelo apoio e ajuda, aos meus irmãos, Luciana e Régis, pelo incentivo constante, bem como a seus respectivos cônjuges, a minhas queridas tias, em especial Arlete e Lenira, pelo incentivo presente e apoio moral, e aos demais familiares pelos momentos de alegria que fizeram deste período uma caminhada leve;

Ao meu tio e padrinho, José de Ribamar Pedrosa, e sua esposa, Tia Amália, que nos deixaram saudosos durante este percurso.

A Professora Dra. Poliana Rocha D'Almeida Mota Soares, por ter aceitado o convite de me orientar na elaboração deste trabalho;

Ao Professor da do curso de Agronomia/UFVASF, Dr. Eliezer Santurbano Gervásio, por ter se disponibilizado a vir em Teresina e ter fornecido parte eletrônica do equipamento do projeto anterior.

Ao Professor do curso de Engenharia Elétrica/CT/UFPI, Dr. Otacílio da Mota Almeida, pela forma disponível e dedicação no desenvolvimento juntamente com técnico em laboratório Alan Charles, na construção e montagem das placas eletrônicas e bem como o empenho na tentativa de fazê-lo funcionar.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela grande contribuição para o meu enriquecimento intelectual e, principalmente, para a formação de um cidadão mais consciente e comprometido com as questões educacionais, sociais e ambientais;

Ao professor CCA/UFPI, Dr. Francisco Alcântara Neto, pela amizade valorosa e pela forma solidária do pensamento acadêmico que engrandece, sem sombra de dúvidas, o Centro de Ciências Agrárias.

Aos Pesquisadores da Embrapa Meio-Norte, Dr. Aderson Soares de Andrade Junior e Dr. Edson Alves Bastos, pelas palavras de incentivos, orientação continuada e atenção paternal;

Ao professor CCA/UFPI, Dr. Valber Mendes Ferreira, pela amizade e pela forma solidária e comprometida em ajudar um amigo.

Aos Professores do Colégio Técnico de Teresina – CTT, Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho e Dr. José Bento de Carvalho Reis, pela disponibilização de uso dos laboratórios e todos os materiais e equipamentos necessários para condução deste trabalho;

Ao colega do mestrado Paulo Henrique Dalto, pela amizade especial, companheirismo, ajuda e disponibilidade de sempre, importantíssimos, para conclusão deste trabalho;

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial os amigos, Hygor Martins Barreira, Raimundo Brito, André da Silva Rocha e Francisco Porto, pelo convívio harmonioso e produtivo ao longo desta caminhada e pela imensa ajuda e esforço na implantação e condução do experimento;

Aos colegas de trabalho no Instituto de Criminalística de Timon, João Paulo Pierote Silva, Arthur Nóbrega de Lima Saraiva e Francisco Lafayete Uchôa Mendes, pelo companheirismo e ajuda com permutas nas escalas de plantões para que pudesse me dedicar ao curso durante a semana.

“Sem sonhos a vida não tem brilho. Sem metas, sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais”.

Augusto Cury

RESUMO

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO ASSOSSIADOS AO SISTEMA DE MANEJO

Autor: Antonio Guaraná Mendes

Orientadora: Poliana Rocha D'Almeida Mota Soares

Objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo relacionados ao manejo de solo aplicado a cada área, bem como, determinar a curva de retenção de água no solo com uso de mesa de tensão. Na Fazenda Nova Zelândia, Uruçui-PI, foram coletadas amostra de solo em cilindro inoxidáveis com 98 cm³ representativas de duas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m em quatro áreas de diferentes de manejo: Mata nativa (MN), plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) com cinco repetições, com os quais determinou-se os atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), Porosidade Total (Pt), microporosidade (MicroP), macroporosidade (MacroP) e água disponível (AD). Estes atributos foram submetidos a teste de médias utilizando Tukey a 5% de significância. Conclui-se que o sistema ILPF se destacou em relação aos demais uso de manejo de solo quanto aos atributos: porosidade total, densidade do solo e macroporosidade; PC obteve os melhores resultados no atributo teor de microporosidade e água disponível; os atributos físicos do solo: porosidade total, microporosidade e macroporosidade, sofrem forte influência com o uso e manejo de solo em relação a profundidade do solo até 0,2 m. O modelo de equação linear foi considerado significativo para representar as curvas de retenção neste trabalho, porém não diferiu os tratamentos avaliados. As curvas de retenção em mesa de tensão para cada uso e manejo de solo nas camadas apresentaram comportamento semelhantes.

Palavras-chave: manejo de solo, atributos físicos, cerrado.

ABSTRACT**CHANGES IN PHYSICAL ATTRIBUTES OF A YELLOW LATOSOL ASSOCIATED
TO MANAGEMENT SYSTEM****Author: Antonio Guaraná Mendes****Advisor: Poliana Rocha D'Almeida Mota Soares**

Aimed to evaluate the soil physical attributes related to soil management applied to each area as well, determine the water retention curve in the soil with the use of voltage table. Farm in New Zealand, Uruçuí-PI were collected soil in stainless cylinder representing 98 cc two-tier 0-0.1 m and 0.1-0.2 m in four different areas of management: Native Forest (MN), conventional tillage (PC), tillage (NT) and Integration Crop Farming Forest (IAFP) with five repetitions, with which it was determined the soil physical attributes: bulk density (Ds), particle density (Dp), Total Porosity (Pt), microporosity (microprocessor), macroporosity (MacroP) and available water (AD). These attributes were subjected to medium using Tukey's test at 5% significance. We conclude that the IAFP system stood out compared to the other use of soil management on their characteristics: porosity, bulk density and macroporosity; PC obtained the best results in the attribute microporosity content and available water; the soil physical properties: total porosity, microporosity and macroporosity, are strongly influenced by use and soil management in relation to soil depth up to 0.2 m. The linear equation model was considered significant to represent the retention curves in this work, but the treatments did not differ. The retention curves in voltage table for each use and soil management in the layers showed similar behavior.

Keywords: soil management, physical attributes, cerrado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de manejo das áreas da Fazenda Nova Zelândia.....	33
Tabela 2 – Análise granulométrica para duas profundidades das áreas de uso e manejo do solo nas profundidades avaliadas.	35
Tabela 3 – Densidade do solo(DS) e densidade de partículas(DP) com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.	41
Tabela 4 – Atributos físicos do solo: porosidade total (PT), microporosidade (MiP) e macroporosidade (MaP) com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.	42
Tabela 5 – Médias de água disponível com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.....	45
Tabela 6 – Coeficientes das equações de 1º grau obtidas pela análise de regressão das curvas retenção de água do solo para os quatro tratamentos em duas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da fazenda Nova Zelândia no Estado do Piauí, Região Nordeste, Brasil.....	29
Figura 2 – Índices pluviométrico mensais (2008-2014) Faz. Nova Zelândia.	30
Figura 3 – Índice Pluviométrico médio (2008 a 2014) Faz. Nova Zelândia.	30
Figura 4 – Índices pluviométricos anuais (2008-2014) Faz. Nova Zelândia.	31
Figura 5 – Fotos das áreas de coleta das amostras.	32
Figura 6 – Metodologia de coleta de amostras indeformadas.	34
Figura 7 – Amostras de solo em bandeja durante pesagem.	35
Figura 8 – Mesas de tensão com amostras coletadas com amostras quando da aplicação de 30 cmH ₂ O.	36
Figura 9 – Amostras de solo no interior da estufa a temperatura de 105°C.....	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação de pedotransferência de estimativa de ponto de murcha permanente (PMP) (KLEIN <i>et al.</i> , 2010).....	37
Equação 2 – Determinação de densidade de solo (EMBRAPA, 2011).....	37
Equação 3 – Determinação de densidade de partículas por meio de balão volumétrico (EMBRAPA, 2011).	38
Equação 4 – Determinação de porosidade total por meio das densidades real e do solo (EMBRAPA, 2011).	38
Equação 5 – Determinação de microporosidade do solo pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 2011).	39
Equação 6 – Determinação de macroporosidade (EMBRAPA, 2011).	39
Equação 7 – Determinação da água disponível do solo.....	39

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE EQUAÇÕES	12
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Uso e Manejo de Solo	18
2.1.1. Mata nativa	18
2.1.2. Preparo convencional	19
2.1.3. Sistema de plantio direto	20
2.1.4. Integração lavoura-pecuária-floresta	21
2.2. Qualidade do Solo	21
2.2.1. Atributos físicos do solo	22
2.3. Água no Solo	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Localização e Clima das Áreas de Coleta	29
3.2. Descrição das Áreas de Coleta	31
3.3. Metodologia de Coleta	33
3.4. Materiais para Coleta das Amostras Indeformadas	34
3.5. Análise Granulométrica de Solo	34
3.6. Aplicação de Tensões em Mesa de Tensão	35
3.7. Estimativa do Ponto de Murcha Permanente	37
3.8. Atributos Físicos Avaliados	37
3.9. Água Disponível	39
3.10. Curva de Retenção de Água no Solo em Mesa de Tensão	40
3.11. Análise Experimental	40
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	41
5. CONCLUSÕES	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o futuro vem trazendo à tona a necessidade de se conhecer como os sistemas de manejo do solo implementados pelo homem podem afetar a qualidade do solo (QS) ao longo do tempo. Logo após o aparecimento do *Homo sapiens*, surgiu a agricultura e há pouco tempo ocorreu a revolução industrial. Esta última que começou com o advento das máquinas a vapor, trouxe grandes máquinas capazes de alterar a superfície do planeta como nunca antes fora visto e num ritmo acelerado. Assim todo o planeta sofreu uma grande modificação para fornecer alimento para uma população cada vez maior. Segundo a FAO (2012) seremos 9,15 bilhões de pessoas em 2050, e a população mundial continua crescendo, e isso afeta diretamente a agricultura e a produção de alimentos. Para preservarmos o planeta para a própria sobrevivência do homem, precisamos compreender melhor o que ocorre no solo do nosso planeta.

Na antiguidade, predominava o sistema de associação das culturas de cereais e criação de gado, com baixa produtividade, já na idade média o uso de novas tecnologias gerou aumento de produção e de excedentes. Atualmente, criaram-se sistemas de culturas de cereais e forrageiras sem pousio, com aumento considerável da produção e de excedentes comercializáveis (SANTILLI, 2009). Esse novo sistema de cultivo demonstrou ser muito produtivo devido o advento de novos meios de produção e do uso de produtos químicos, assim surgiu à prática da monocultura (ROMEIRO, 1998).

No final da década de 1950 e início da de 1960, o modelo agrícola passou por uma transformação, associando insumos químicos, mecânicos e biológicos, promovendo uma intensa padronização das práticas agrícolas e artificialização do ambiente natural. Essa época ficou conhecida como “revolução verde”, tornando-se um marco agrícola mundial (SANTILLI, 2009.). Nos anos de 1990, houve a introdução da biotecnologia no sistema de cultivo (SANTOS, 2006), modificando novamente as práticas agrícolas.

A preocupação com a sustentabilidade das atividades agrícolas é crescente e está em evidência nos últimos anos. Nicoloso *et al.* (2008) afirma que a atividade agropecuária deve basear-se no seguinte paradigma ecológico: ser produtivamente eficiente, economicamente viável, responsável socialmente e ecologicamente compatível com o ambiente. Podemos ainda incluir neste conceito aspectos atuais como rentabilidade econômica, produtividade, relações entre custo e benefício, preservação ambiental e qualidade do solo (QS).

Em ecossistemas naturais é mantida estreita e harmônica integração da cobertura vegetal com o sistema físico, químico e biológico do solo, através de processos essenciais,

como a ciclagem de nutrientes, pela formação e decomposição da matéria orgânica (FERREIRA *et al.*, 2007). Entretanto, essa harmonia é destruída fisicamente, com as operações de preparo do solo, e alterada quimicamente, pela incorporação de corretivos e fertilizantes, causando o desequilíbrio do sistema e, em consequência, a aceleração ou retardamento dos processos de ciclagem de nutrientes e de formação e, ou, decomposição da matéria orgânica (RESCK, 1996).

Para atender a demanda crescente por alimentos e por bioenergia, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas, é necessário desenvolver sistemas de produção mais eficientes no uso dos recursos naturais. Há uma grande necessidade para a caracterização desses sistemas de um ponto de vista de qualidade ambiental e sócio econômico para poder providenciar fundamentação à promoção desses sistemas em negociações e tratados internacionais que tem cada vez maior importância na competitividade nacional e internacional do agronegócio, ramo forte da economia brasileira (VILELA *et al.*, 2008).

A pressão que a agricultura tem sobre o meio ambiente indica a necessidade de se buscar um novo patamar de conhecimento onde o sistema produtivo utilize a agricultura como produtora de alimentos e matérias primas essenciais e observe o progresso em outras dimensões e valores (LOPES *et al.*, 2008).

O Brasil se apresenta como um dos maiores potenciais agrícolas para produção de grãos, principalmente pela quantidade de terras favoráveis a exploração e ao clima propício para cultivos. (MATOS, 2006) A soja é a cultura mais importante, seguida do milho e do arroz (SILVA *et al.*, 2013). Estas três culturas explicam 81,3% do crescimento de área no Brasil (CONAB, 2015).

A área da região nordeste é basicamente composta por Cerrado com altas temperaturas e alta umidade durante o período chuvoso, favorecendo a rápida mineralização da matéria orgânica nesta época. Já o período de longa estiagem, que vai de maio a setembro, desfavorece a produção de matéria seca pelas espécies utilizadas como cobertura do solo (SILVA, 2013).

O Cerrado possui uma grande diversidade natural, ocupando uma área de 2.036.488 km² cerca de 24 % do território brasileiro, o segundo maior bioma da América do Sul (IBGE, 2004). O Cerrado é um dos biomas brasileiros que mais sofreu alterações com a ocupação humana, decorrente da abertura de novas áreas para expansão da fronteira agrícola nos últimos anos, tendo 49,1% da sua área devastada (IBGE, 2012).

O processo de produção agrícola desenvolvido no Nordeste brasileiro nos últimos anos do século XX tem contribuindo decisivamente no planejamento ambiental e territorial de

vários estados da região. A importância econômica assumida na área que compreende o bioma Cerrado, em solo nordestino fez surgir um novo conjunto paisagístico ligado à agroindústria em localidades que, até algumas décadas atrás, eram consideradas áreas de expulsão populacional, as quais não tinham, na agricultura, o poder de transformação espacial (BARBOSA, 2014).

O Estado do Piauí, no final dos anos de 1980, foi palco de grandes transformações espaciais, sobretudo no sudoeste do estado, por passar a receber os primeiros projetos agrícolas que tiveram forte participação na organização espacial de alguns municípios localizados nesta região, passando a produzir grãos, principalmente soja, milho e arroz, e colocando o Piauí definitivamente dentro do circuito mundial de produção (BARBOSA, 2014).

Estudos que relatam alterações significativas nos atributos físicos do solo em virtude do seu não revolvimento e do tráfego contínuo de máquinas pesadas e equipamentos agrícolas em solo com umidade elevada são frequentes (STRECK *et al.*, 2004; BEUTLER *et al.*, 2007; FREDDI *et al.*, 2007; COLLARES *et al.*, 2008). Tais alterações indicam não apenas decréscimo na porosidade do solo, mas também aumento significativo na densidade do solo, ocasionando um impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas (FREDDI *et al.*, 2007; BERGAMIM *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2010, VALICHESKI, 2012).

Durante as operações de preparo do solo e semeadura são aplicadas forças compactativas que afetam a resistência do solo à penetração, o que ocorre devido às modificações das condições físicas do mesmo (ROSOLEM *et al.*, 1999).

Dentre as consequências diretas da compactação do solo pode se citar o aumento da resistência mecânica do solo à penetração das raízes (BEUTLER; CENTURION, 2003; COLLARES *et al.*, 2008; RALISCH *et al.*, 2008; VALICHESKI, 2012), a redução da porosidade, da continuidade dos poros, da permeabilidade e da aeração do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994; VALICHESKI, 2012).

Um solo compactado tem o arranjo estrutural, a porosidade total, a difusão de gases, a infiltração e o armazenamento de água comprometidos, que, por consequência, afetam o crescimento radicular das plantas (TAYLOR; BRAR, 1991; FOLONI, 2006).

Como os macroporos têm papel fundamental na movimentação de gases no solo, são também chamados porosidade de aeração. Os efeitos da compactação na aeração do solo podem, portanto, ser avaliados através da análise da ocorrência de macroporos, de tal forma que valores críticos para este fator frequentemente são estabelecidos na literatura. Em geral,

considera-se que $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ representam boa porosidade de aeração enquanto valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ representam deficiência de aeração (ROS *et al.*, 1997; VALICHESKI, 2012).

O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Este monitoramento propicia melhor qualidade dos produtos agrícolas, mecanização consciente, um ambiente mais sadio para o homem e racionalização no uso de matérias-primas e dos recursos naturais, reduzindo a degradação ambiental (DORAN; PARKIN, 1994; BEUTLER *et al.*, 2001).

O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos do solo relacionado ao manejo de solo aplicado a cada área, bem como, determinar a curva de retenção de água no solo com uso de mesa de tensão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso e Manejo de Solo

O manejo do solo é um dos principais fatores que definem a qualidade do solo (QS) e a sustentabilidade de um sistema de produção (NICOLOSO, 2005), assim é importante conhecer as características de cada manejo. Algumas práticas agrícolas que visam menor degradação do solo e maior sustentabilidade têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores.

A busca do desenvolvimento sustentável representa um dos maiores desafios para a humanidade (COSTA, *et al.*, 2014). Existem sistemas de manejo que tendem a minimizar o impacto das atividades agrícolas sobre os teores de matéria orgânica (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007) e a estrutura do solo (LOSS, 2011).

Em sistemas onde não há revolvimento do solo, ocorre a manutenção dos resíduos vegetais em cobertura e há um estímulo da biomassa microbiana favorecendo a decomposição dos resíduos (FERREIRA *et al.*, 2007). Busca-se promover com a cobertura permanente do solo a proteção contra a erosão, ciclagem de nutrientes, em especial o nitrogênio diminuindo as perdas por lixiviação (KRAMBERGER *et al.*, 2009); melhoria dos atributos relacionados a física do solo, aumentando a macroporosidade, diminuindo a resistência do solo a penetração e aumentando a infiltração de água no solo (NICOLOSO *et al.*, 2008) entre outros benefícios que interagem promovendo a melhoria na qualidade do solo.

Desses sistemas destacam-se a pastagem, o sistema de plantio direto e a silvicultura, que acumulam matéria orgânica principalmente nos primeiros centímetros do solo (FOLLET; SCHIMEL, 1989) e também a integração lavoura-pecuária-floresta.

2.1.1. Mata nativa

O Brasil possui uma grande cobertura florestal, a segunda maior cobertura florestal do mundo, ficando atrás apenas da Rússia. O Ministério do Meio Ambiente estima que 69% dessa cobertura tenham potencial produtivo (FLORESTAL, 2014). Devido ao vasto território nacional, o Brasil possui diversos tipos de biomas, sendo a vegetação nativa encontrada na região estudada o Cerrado. Este bioma é caracterizado por um clima seco e árvores caducifólias e retorcidas, com grandes e profundas raízes para sobreviver ao período de

estiagem, é a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade, com um terço da biodiversidade nacional e 5% da flora e da fauna mundiais (FALEIRO *et al.*, 2008).

O cerrado brasileiro é o bioma que tem sofrido o maior desmatamento a partir da metade do século passado (SILVA *et al.*, 2013) sendo que no estado do Piauí ocupa uma área de quase 12 milhões de hectares, o que corresponde a 46% da área do Estado, 5,9% do cerrado brasileiro e 36,9% do cerrado nordestino (LEITE *et al.*, 2010), possui uma rica diversidade de fauna e flora e seu subsolo possui grandes aquíferos (SILVA *et al.*, 2013).

A rápida expansão da agricultura mecanizada contribuiu para a diminuição das áreas naturais do bioma Cerrado e a recente ocupação na porção nordestina do bioma baseou-se na produção de grãos em larga escala visando o mercado externo (BRANNSTROM *et al.*, 2008). Não somente a agricultura se tornou um vetor de transformação da paisagem do bioma. A vegetação de cerrado também passou a ser suprimida devido à introdução de espécies exóticas, como o eucalipto, e pela retirada da vegetação natural para a produção de carvão (FURLEY, 1999).

No Estado do Piauí, a ocupação foi iniciada na década de 70 com projetos voltados à cajucultura e à pecuária. Na década de 90, as mudanças de uso da terra foram intensificadas devido à produção de grãos, tendo como consequência extensas áreas desmatadas (AGUIAR, 2010).

O cerrado piauiense apresenta-se como uma nova fronteira agrícola do país, com condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de culturas anuais (PACHECO *et al.*, 2013). Na safra 2011/2012, as áreas cultivadas com soja, milho e arroz no Piauí foram de 438,8; 357,3 e 141,9 mil ha, respectivamente, com destaque para o aumento de 17% na área cultivada com soja em relação à safra anterior (CONAB, 2013). O sistema de preparo convencional do solo tem sido prática bastante utilizada por produtores de grãos dessa região (PRAGANA *et al.*, 2012).

2.1.2. Preparo convencional

Nas primeiras décadas de ocupação, a atividade agrícola do Cerrado era dominada pelo uso de diversos implementos para o preparo do solo, devido principalmente as boas condições físicas e topográficas dos solos da região. O preparo convencional do solo tem como objetivo proporcionar condições físicas ideais para a instalação de um cultivo, além da eliminação de plantas invasoras. No plantio convencional o solo é revolvido para reduzir a compactação, para incorporar fertilizantes e corretivos, aumentar a permeabilidade e

consequentemente o armazenamento de água, facilitando o crescimento das raízes e auxiliar no controle de patógenos (CRUZ *et al.*, 2006). Porém o uso excessivo ou inadequado desses equipamentos de preparo do solo pode causar a desagregação da estrutura, compactação da camada subsuperficial, aumento da erosão, e a consequente lixiviação de nutrientes.

Nos anos 1970 e 80, os agricultores brasileiros majoritariamente adotavam o sistema convencional de preparo de solo, que é caracterizado por intenso revolvimento do solo, o que favorecia a erosão (BRASIL, 2014). Atualmente vem sendo substituído por sistemas de menor impacto ambiental, como o sistema de plantio direto.

2.1.3. Sistema de plantio direto

Foi implantada, primeiramente, na região norte do Estado do Paraná e sua adoção vem crescendo desde então (NASCENTE; CRUSCIOL, 2012). Como vem sendo praticado há mais de 40 anos no Brasil, está consolidando-se como uma tecnologia conservacionista e em 2012 passou dos 35 milhões de hectares, dos quais a maior parte vem sendo utilizado com cultivos de grãos, principalmente milho e soja (CONAB, 2013). Devido ao seu menor custo em relação ao plantio convencional (LEITE *et al.*, 2010), este sistema ocupa mais de 75% da área ocupada por lavouras anuais de grãos no Brasil (BRASIL, 2014).

O sistema de plantio direto tem demonstrado um expressivo crescimento em todo o mundo, sendo utilizado em aproximadamente 117 milhões de hectares, sendo 58 milhões na América Latina, 40 milhões nos Estados Unidos da América e Canadá e 17 milhões de hectares na Austrália (FAO, 2012). Como no plantio direto não há revolvimento do solo (CARVALHO *et al.*, 2011), tem apresentado boas características físicas de qualidade do solo, além de diminuição de processos, como erosão e compactação do solo (LEITE *et al.*, 2010).

Ao considerar que o índice pluviométrico do cerrado piauiense é menor se comparado ao de outras regiões, a presença de quantidades significativas de biomassa sobre a superfície do solo pode causar maior retenção e eficiência no uso da água pela planta. (PACHECO *et al.*, 2013).

Os princípios do sistema de plantio direto seguem a lógica das florestas. Assim como o material orgânico caído das árvores se transforma em rico adubo natural, a palha decomposta de safras anteriores macro e microrganismos, transformando-se no “alimento” do solo. As vantagens são as reduções no uso de insumos químicos e controle dos processos erosivos, uma vez que a infiltração da água se torna mais lenta pela permanente cobertura no solo. O Brasil é líder mundial no uso do sistema (GIESTEIRA, 2011).

2.1.4. Integração lavoura-pecuária-floresta

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) podem ser definidos como sistemas produtores de grãos, carne e energia por meio do cultivo simultâneo ou sequencial de espécies arbóreas com culturas agrícolas ou criação de animais, maximizando a utilização de corretivos e fertilizantes, visando o aumento da sustentabilidade e redução dos impactos ao meio ambiente (MACEDO, 2009).

A ILPF se baseia nos princípios da rotação de culturas e do consórcio entre lavoura de grãos, forrageiras e espécies arbóreas, para produzir, na mesma área, grãos, carne ou leite e produtos madeireiros e não madeireiros ao longo do ano. Estas atividades permitem aos proprietários rurais amortizar o custo de implantação e manutenção da floresta com a comercialização dos grãos e produtos oriundos da pecuária ou outras culturas em uma mesma área (VIANA *et al.*, 2013).

Uma grande parte dos solos degradados do território brasileiro está localizada no semiárido, na Região Nordeste (URSULINO *et al.*, 2014). Atualmente, sistemas ILPF são mais utilizados e tem maior aplicabilidade nas regiões semiáridas, esses sistemas são indicados para a região como resposta às pressões por produção de alimentos, tanto para a população humana quanto para os rebanhos bovinos, caprinos e ovinos sendo difundidos como alternativas sustentáveis (BALBINO *et al.*, 2011).

2.2. Qualidade do Solo

O conceito de qualidade do solo (QS) (DORAN; PARKIN, 1994) começou a ser formulado no início dos anos 90 como a aptidão para o uso agrícola, mas com o passar do tempo e a evolução das pesquisas, este conceito foi se transformando e hoje, um solo de qualidade é definido como aquele capaz de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005). Entretanto há dificuldades na seleção das propriedades do solo que devem ser avaliadas, e seus valores considerados adequados ou ideais, uma vez que estes variam com o tipo de solo e clima de cada região. O conceito de qualidade de solo (QS) é baseado na premissa de que o manejo do solo pode degradar, estabilizar ou aumentar as funções do ecossistema (FRANZLUEBBERS, 2002).

Podemos dividir as características do solo em três grupos principais: físicas, químicas e biológicas. Existem vários indicadores para qualidade do solo (QS), mas para ser um bom

indicador, este deve apresentar alta correlação entre os manejos, ser extremamente sensível as variações de cada manejo e bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo (DORAN; ZEISS, 2000).

2.2.1. Atributos físicos do solo

A produtividade vegetal depende de vários fatores, dentre os quais a densidade e a porosidade do solo (SANTOS *et al.*, 2006), O sistema de manejo do solo é considerado uma das fontes mais importantes de variabilidade destas propriedades físicas do solo (VITÓRIA *et al.*, 2012).

Os valores médios de propriedades, como densidade, água disponível e porosidade do solo, permitem comparar os efeitos dos sistemas de manejo e, por meio das suas magnitudes, inferir a respeito da qualidade física do solo (ARAÚJO, 2004). Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998).

A densidade é a propriedade física mais dinâmica e varia em função da textura, de acordo com as condições estruturais do solo, sendo alterada pelo cultivo, pela compressão de máquinas agrícolas, por animais e condições ambientais do meio (ARSHAD; MARTIN, 2002).

O conhecimento da porosidade total de um solo constitui uma informação muito importante quanto às suas propriedades. Operacionalmente, costuma-se classificar os poros do solo de acordo com as classes de tamanho, ou seja, macroporos e microporos, cujo limite está nos poros com diâmetros menores e maiores que 0,5 mm, respectivamente, e uma altura da coluna de água de aparelhos com a mesa de tensão de 60 cm, admitindo-se que os macroporos sejam responsáveis pelo livre movimento do ar, da água e do crescimento radicular, e os microporos um reservatório de água.

A porosidade e a densidade do solo têm sido utilizadas como indicadoras da qualidade do solo, por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas, à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARAÚJO *et al.*, 2012.).

De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade adequados ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA *et al.*, 2000). Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o

solo vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal.

Vários trabalhos demonstram que o tipo de exploração agrícola afeta alguns atributos físicos de solo (ANJOS *et al.*, 1994; ALBUQUERQUE *et al.*, 1995; ANDREOLA *et al.*, 2000). Tem sido apregoado que sistema de rotação de culturas sob plantio direto, incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, pode alterar as propriedades físicas e químicas do solo (DA ROS *et al.*, 1997; SANTOS; TOMM, 1999; ALBUQUERQUE *et al.*, 2001). Por outro lado, a compactação de solo pode reduzir a produtividade de culturas, sendo a cultura de milho considerada sensível a esse processo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001).

As propriedades densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo têm sido usados para indicar restrições ao desenvolvimento de plantas. No entanto, Unger e Kaspar (1994) destacam que a compactação do solo reduz o crescimento de plantas principalmente quando o suprimento de água e nutrientes é insuficiente, fato observado quando as raízes desenvolvem-se acima de camadas compactadas.

Segundo Naime (2001), o plantio convencional apresenta área de cobertura vegetal menor do que 30%, o que ocasiona uma maior exposição do solo ao impacto direto da chuva o que pode produzir o selamento da superfície do solo, o qual propicia escorrimentos superficiais de água, fator que causa erosão no solo. Além disso, o uso intenso de implementos neste tipo de plantio promove, por exemplo, um aumento da descontinuidade dos macroporos do solo e sua compactação.

Shipilato *et al.* (2000), em estudos utilizando lisímetros chegaram à conclusão de que o plantio direto favorece a formação de macroporos na estrutura do solo. Segundo eles, isso se deve à incorporação de matéria orgânica no solo, uma maior presença de minhocas e atividade biológica mais intensa. Devido à formação e preservação desses macroporos, a proporção de água de chuva que entra e flui para o interior do solo é maior em sistemas sob plantio direto do que sob plantio convencional. O tipo de manejo também influencia a formação, estruturação e estabilização dos agregados do solo.

Shipilato *et al.* (2000) concluíram que o plantio direto pode reduzir o escorrimento superficial da água no solo e aumentara infiltração de água em seu interior, mais notadamente durante a fase de crescimento da cultura quando o índice pluviométrico é alto e a evaporação é maior.

O preparo convencional, devido ao revolvimento do solo, degrada suas propriedades físicas, pois rompe seus agregados, compacta-o abaixo da camada preparada e o deixa

descoberto. A semeadura direta, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém o deixa mais compactado (BERTOL *et al.*, 2004).

O conhecimento da variabilidade das propriedades físicas dos solos, envolvidos, principalmente as relacionadas com a distribuição granulométrica, que influencia diretamente o fluxo superficial e o movimento de água no solo, bem como dos parâmetros químicos relacionados à sua fertilidade, são fundamentais para melhorar o desempenho das atividades agrícolas e também para o planejamento ambiental.

Valeriano e Prado (2001) encontraram valores de argila variando entre 180 e 320g kg⁻¹, com média de 250g kg⁻¹, em LATOSSOLO VERMELHO de textura média, com malha regular de 92 pontos com espaçamento de 50m.

Em Argissolo Vermelho-Amarelo, solos menos homogêneos, de acordo com Albuquerque *et al.* (1996) e Salviano *et al.* (1998), com espaçamento regular entre pontos de 5 m, o teor de argila superficial apresentou alcance ao redor de 40 m.

Soares *et al.* (2005) estudaram o comportamento físico de Latossolo Vermelho disposto ao longo de uma sequência topográfica, cultivado com citros em sistema tradicional de manejo e verificaram que houve variação da classe textural nos perfis dos solos, principalmente nos valores de argila do horizonte A para o B, nos solos das posições mais baixas, e que os solos das partes mais elevadas apresentaram textura mais arenosa, e ao longo da vertente o teor de argila foi crescente para a baixada, passando de franco-arenosa (130g kg⁻¹ de argila) na camada superior a franco-argilo-arenosa nos demais horizontes do perfil (210 a 320g kg⁻¹ de argila). A porosidade total variou de 0,47 a 0,53m³ m⁻³ sendo os valores mais elevados encontrados nas camadas mais profundas e nas posições mais baixas da encosta. Nestas camadas, os valores médios de microporosidade aumentaram devido ser mais argiloso nestes locais, os valores variaram de 0,21 a 0,34m³ m⁻³. O contrário ocorreu com a macroporosidade que diminuiu das partes mais elevadas para as mais baixas, com valores mais elevados (0,26m³ m⁻³) no terço superior, e 0,17m³ m⁻³, no terço inferior. A densidade do solo também foi maior em profundidade e nas posições de maior cota, atingindo valores de 1,47kg dm⁻³.

Ainda segundo Bertol *et al.* (2004), ao estudar os atributos físicos de um Cambissolo Húmico, verificou-se que, nas profundidades de 0 a 10cm, a densidade deste solo foi 19% maior na semeadura direta do que no preparo convencional. Os estudos também indicaram a existência de uma camada de maior compactação a partir dos 10 cm de profundidade no preparo convencional, em contraste à compactação relativamente uniforme em toda a profundidade estudada na semeadura direta.

A densidade do solo interfere no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, na infiltração e no armazenamento de água do solo. Pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra indeformada, seca a 110 °C, e a soma do volume ocupado pelas partículas e pelos poros. A porosidade depende principalmente da textura e da estrutura do solo (KIEHL, 1979). O arranjo ou a geometria das partículas determinam a quantidade e a natureza dos poros existentes.

A densidade do solo e o volume total de poros são variáveis dependentes e inversamente proporcionais (PEDROTTI *et al.*, 2003). Segundo Secco *et al.* (2004) existe uma relação direta entre a densidade do solo e a microporosidade e uma inversa com o volume de macroporos. O volume de poros e suas características intrínsecas como superfície específica, imperfeição, tortuosidade e conectividade são provavelmente os fatores mais importantes que controlam o movimento de água e solutos no solo (LEBRON *et al.*, 2002).

Segundo Reichardt (1993), solos cultivados têm menor porosidade que solos não cultivados. A perda da porosidade está relacionada à redução do teor de matéria orgânica do solo, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva em sua superfície. Ainda de acordo com esse trabalho, a compactação afeta a estrutura, o arranjo poroso, o volume e as características de retenção de água do solo.

Em condições de solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Ainda conforme esses autores, a quantidade de oxigênio existente na rizosfera em condições de compactação pode ser limitante nos processos metabólicos (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2000).

Segundo Hakansson *et al.* (1998) em solos compactados o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente em menor absorção de água e nutrientes. A matéria orgânica é um importante condicionador de solo. Sistemas de manejo com menor perturbação do solo pelas operações de preparo e maior aporte de resíduos geralmente apresentam menores valores de densidade do que aqueles com movimentação intensa do solo e baixa incorporação de resíduos orgânicos.

Carvalho *et al.* (2004), em experimento objetivando avaliar a qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho Argiloso sob sistema agroflorestal, observaram que o solo neste sistema apresentou densidade entre 0,84 e 0,97g cm⁻³, enquanto a área sob plantio convencional, valores entre 1,15 e 1,21g cm⁻³.

Observa-se, através de trabalhos, tanto em condições de campo como em ambiente controlado, que não existe um consenso sobre o nível crítico de densidade, e que este varia de acordo com o tipo de solo. Para um Latossolo Roxo, Maria *et al.* (1999) indicaram como nível crítico $1,2\text{g cm}^{-3}$, afirmando que a partir desta densidade ocorre restrição ao desenvolvimento radicular quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo.

Segundo Goedert *et al.* (2002), valores entre $0,7$ e $1,0\text{g cm}^{-3}$ podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propuseram que $0,9\text{g cm}^{-3}$ seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de Latossolos. Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico.

A macroporosidade do solo geralmente é mais afetada pelo manejo que a microporosidade. Streck *et al.* (2004) avaliando o efeito de níveis de tráfego de máquinas nas alterações das propriedades físicas de um solo franco-arenoso, observaram aumentos na macroporosidade e porosidade total com os diferentes níveis de tráfego aplicados, sem aumento na microporosidade.

Araújo *et al.* (2004), comparando solo cultivado com área sob mata nativa, verificaram diminuição da macroporosidade e porosidade total, também sem aumentos na microporosidade.

Cruz *et al.* (2003) observaram maior macroporosidade e porosidade total em sistema de cultivo convencional do que em mata nativa e sistema de plantio direto, até a profundidade de $0,10\text{m}$. Corsini e Ferraudo (1999) avaliaram o efeito imediato e residual de dois sistemas de preparo do solo, e concluíram que: a subsolagem com aração e gradagem aumenta a porosidade da camada superficial do solo, bem como o potencial de desenvolvimento radicular; que nos três primeiros anos agrícolas, o plantio direto diminui a porosidade e o potencial de desenvolvimento do sistema radicular na camada superficial; e que somente a partir do quinto ano de adoção do sistema esses parâmetros começam a crescer.

Geralmente em sistemas com revolvimento do solo observam-se valores mais elevados de macroporosidade logo após o preparo, que tendem a diminuir com passar do tempo, e que pode ser a principal justificativa para as divergências de resultados entre os trabalhos comparando os sistemas de preparo do solo e mata nativa.

Laurani *et al.* (2004), em sua pesquisa verificaram que no plantio direto a porosidade total do solo é menor quando comparada ao sistema convencional. Porém verifica-se que solos sob esse plantio possuem maior quantidade de macroporos. Esse aumento na

macroporosidade pode induzir o aparecimento de fluxos preferenciais e contribuir para aumentar as taxas de infiltração do solo.

Cunha *et al.* (2001), avaliando o impacto do cultivo convencional sobre as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo originalmente sob cerrado, concluíram que o sistema, já nos três primeiros anos de uso agrícola do solo, ocasionou grande deterioração nas propriedades físicas do solo, como densidade e porosidade.

A capacidade de retenção de água de um solo dependerá do número e tamanho dos poros, os quais são influenciados primariamente pela textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia do solo. Esta propriedade está relacionada ao transporte e armazenamento de água no solo, à erosividade do solo e ao teor de água disponível (DORAN; PARKIN, 1996).

2.3. Água no Solo

O conteúdo de água retido no solo em determinada tensão é característica específica de cada solo e é resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores. Este depende do teor e mineralogia da fração argila, do teor de matéria orgânica, das diferenças da microestrutura com elas relacionadas (BEUTLER, *et al.*, 2002).

Dentre os conceitos de retenção da água no solo existem capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD).

Capacidade de Campo (CC) é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo previamente saturado, ocorre quando todos os microporos do solo, ou seja, poros com diâmetro inferior a 0,05 mm, estão ocupados com água. Esta água é normalmente chamada de solução do solo, já que carrega com ela diversos nutrientes que antes estavam aderidos aos colóides do solo. Fabian *et al.* (2000), afirmou que perfil arenosos os valores de capacidade de campo podem ser altamente dependentes do teor de argila. Oliveira e Melo (1971) concluíram que a microporosidade determinada pelo método de mesa de tensão corresponderam a valores muito próximos da capacidade de campo.

Ponto de Murcha Permanente (PMP) é o teor de umidade no qual a planta não consegue mais retirar água do solo. PMP é definido como o conteúdo de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele crescem atingem, pela primeira vez, um murchamento irreversível, mesmo quando colocada em atmosfera saturada com vapor de água.

Segundo Procópio *et al.* (2004), a partir do trabalho de Briggs e Shantz (1912), foi estabelecido que o ponto de murcha permanente ocorre quando a tensão de água no solo é de,

aproximadamente, 1.500 kPa, o que foi considerado como “conceito das 15 atmosferas”, cuja determinação é feita utilizando-se como planta indicadora o girassol.

Mas também podem ser estimada pelo uso de equações de pedotransferência, tal como, a desenvolvida por Klein *et al.* (2010), onde o ponto de murcha permanente pode ser calculado em solos com variação de argila de 12 a 77,9 % da fração granulométrica.

A disponibilidade de água às plantas é definida pelo intervalo compreendido entre o limite superior e o inferior de água disponível, caracterizado pela umidade do solo equivalente à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente (DE LIMA *et al.*, 2007).

A AD incorpora uma ampla variação de tamanhos de poro e a sua utilização como indicador da qualidade do solo para o crescimento das plantas revela que, dentro desta faixa de potenciais, não ocorrem limitações por aeração e, ou, resistência do solo. No entanto, tal condição depende da estrutura do solo (TORMENA *et al.*, 1998).

Segundo Cavaliere *et al.* (2006), o intervalo hídrico ótimo (IHO) é determinado pela diferença entre o limite superior e inferior de disponibilidade de água no solo: o limite superior é o menor valor do teor de água dentre a capacidade de campo (CC) e aquele em que a porosidade de aeração é de 10 %, enquanto o limite inferior é considerado o maior valor do teor de água correspondente ao ponto de murcha permanente (PMP) ou a umidade em que a resistência do solo à penetração atinge valores limitantes ao crescimento de plantas.

A curva de retenção de água no solo (CRA) tem sido utilizada para descrever a dinâmica da água no solo, ou seja, caracteriza as propriedades hidráulicas do solo além de ser essencial em estudos de qualidade do solo com vistas a nortear as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola.

O cultivo do solo pode alterar a sua estrutura, interferindo nas suas propriedades físicas, como densidade, porosidade (FARIA *et al.*, 1998; PIRES *et al.*, 2012) e acarretar modificações na CRA, pois com o tempo, a estrutura original é alterada em função do fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo.

A curva de retenção é o resultado de regressão linear entre os pontos relaciona o teor ou conteúdo de água no solo com tensão com que ela está retida pelo mesmo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Clima das Áreas de Coleta

As coletas das amostras foram realizadas em duas épocas: setembro de 2013 e fevereiro de 2014, na Fazenda Nova Zelândia localizada no município de Uruçuí – PI, no nordeste brasileiro, nas coordenadas 07°33'08" S e 44°36'45" O a uma altitude de 378 metros acima do nível do mar, com clima tropical e verão com mais pluviosidade que o inverno, o clima segundo Köppen é classificado como Aw, sua temperatura média é de 26.5 °C e a pluviosidade média anual é 1200 mm. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (ARAÚJO *et al.*, 2010).



Figura 1 – Localização da fazenda Nova Zelândia no Estado do Piauí, Região Nordeste, Brasil.

As precipitações pluviométricas na fazenda Nova Zelândia da safra 2008/2009 a safra 2013/2014 estão na Figura 2.

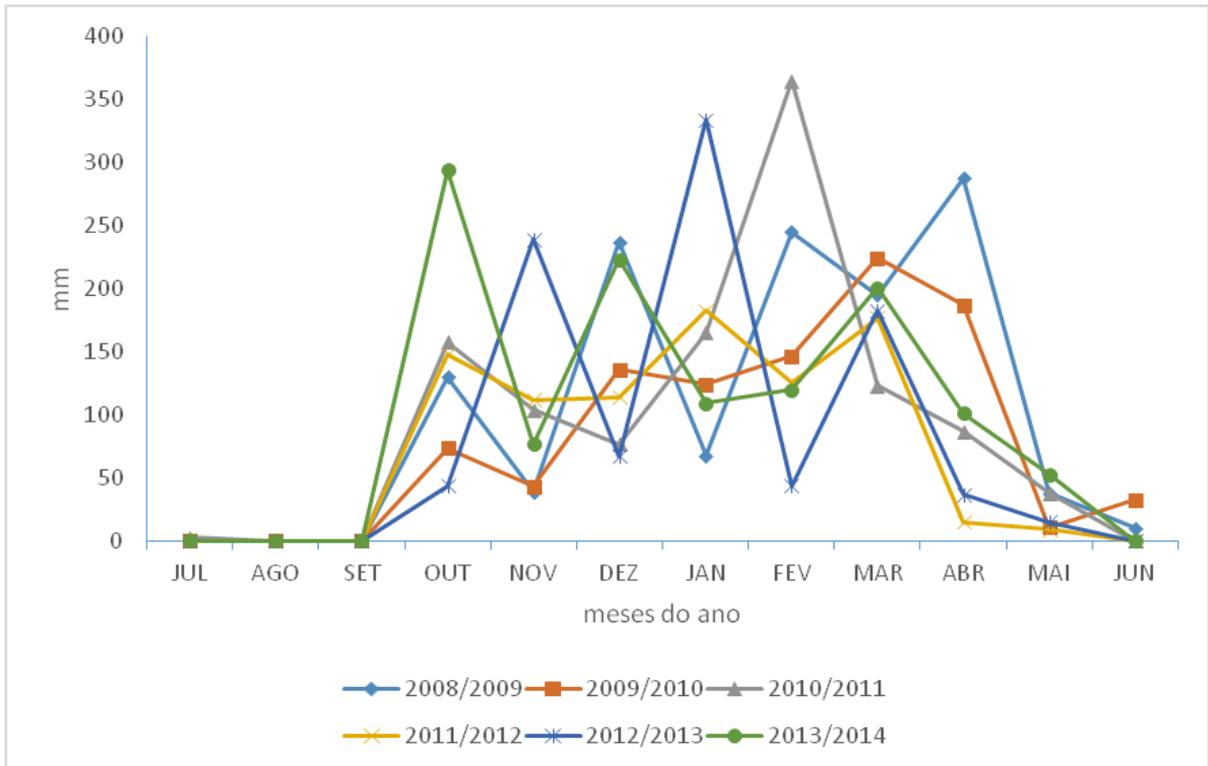


Figura 2 – Índices pluviométrico mensais (2008-2014) Faz. Nova Zelândia.

A média das precipitações pluviométricas na fazenda Nova Zelândia da safra 2008/2009 a safra 2013/2014 estão na Figura 3, com valores mensais médios de precipitação.

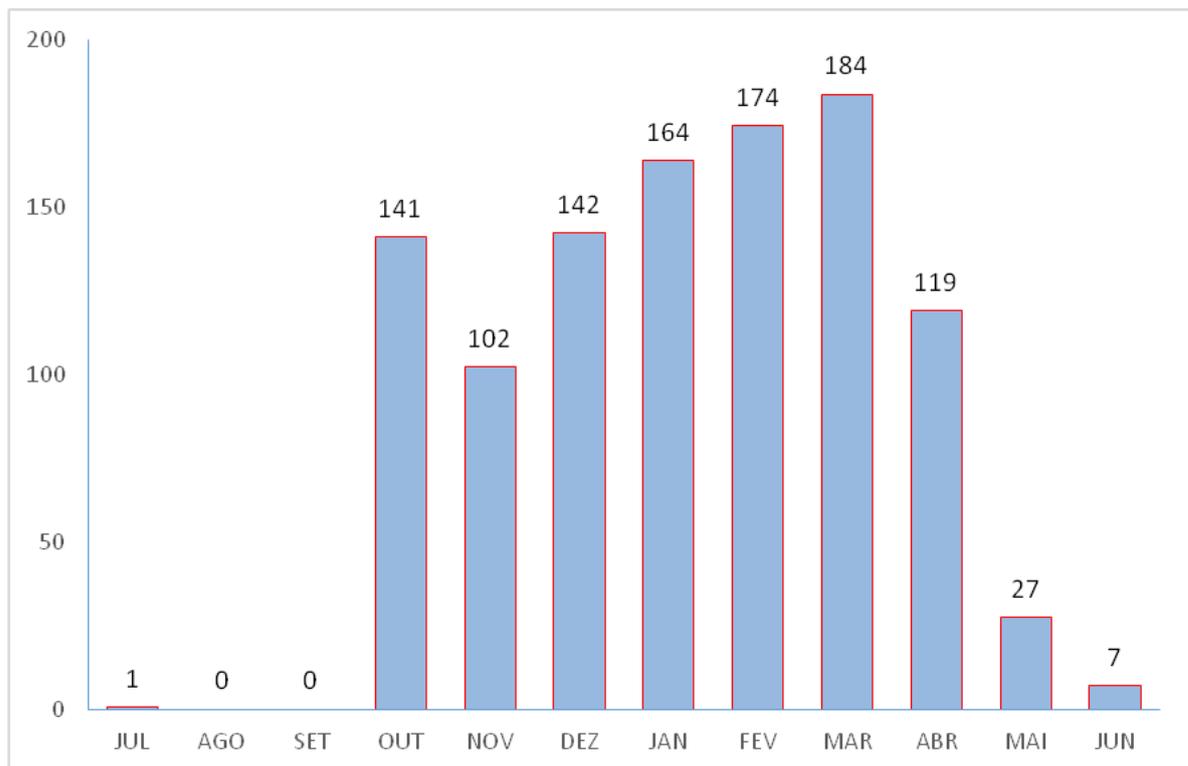


Figura 3 – Índice Pluviométrico médio (2008 a 2014) Faz. Nova Zelândia.

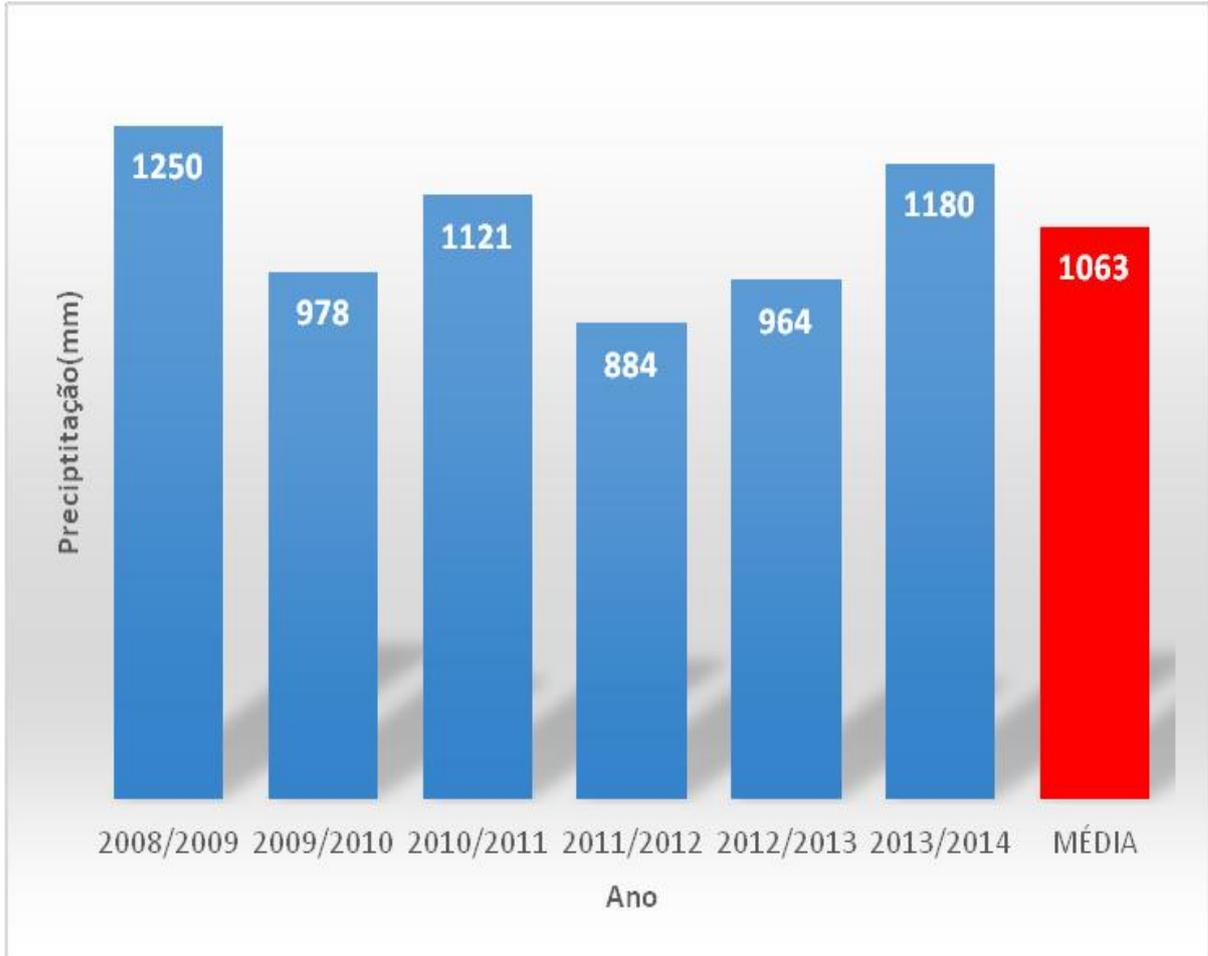


Figura 4 – Índices pluviométricos anuais (2008-2014) Faz. Nova Zelândia.

Os índices pluviométricos anuais na fazenda Nova Zelândia da safra 2008/2009 a safra 2013/2014 estão na Figura 4.

3.2. Descrição das Áreas de Coleta



Mata nativa	Preparo convencional
	
Plantio direto	Integração lavoura pecuária floresta

Figura 5 – Fotos das áreas de coleta das amostras.

(1) Mata Nativa (MN), caracterizada pela vegetação regional de cerrado piauiense, sendo utilizada como padrão por se tratar de um ambiente sem a intervenção humana.

(2) Preparo Convencional (PC), caracterizado pelo revolvimento superficial do solo onde a área foi convertida de MN para lavoura no ano safra 2011/2012, na safra 2013/2014 foram aplicados $0,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gesso agrícola e utilizou-se a grade aradora de 28' para o preparo antes do plantio da cultura da soja.

(3) Sistema de Plantio Direto (PD), caracterizado pelo plantio sem o revolvimento do solo onde a área foi convertida em lavoura na safra 2004/2005, desde a safra 2006/2007 não existe revolvimento do solo nesta área, a cultura implantada na safra 2013/2014 foi feijão.

(4) Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), caracterizado pelo plantio consorciado de espécies florestais com agricultura e posteriormente pecuária onde a supressão florestal ocorreu no ano safra 2002/2003 com aplicação de 3 Mg/ha de calcário dolomítico incorporados com grade aradora e semeadura da cultura do arroz. A área seguiu então no sistema PD com a cultura da soja até o ano safra 2008/2009, onde ocorreu o preparo do solo com grade aradora seguida de escarificador a 30 cm para o plantio do clone de eucalipto IA 105 em fileiras triplas (3 m entre linhas e 2 m entre plantas) espaçadas 14 m umas das outras onde ocorreu o plantio da soja. Na safra 2010/2011 ocorreu o plantio de milho seguido por *brachiaria brizanta* cv. Marandu, seguindo em pousio até a coleta das amostras.

Tabela 1 – Histórico de manejo das áreas da Fazenda Nova Zelândia.

Sistemas de Manejo	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Mata Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa
Plantio Convencional	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	SF/ GA-32'' / CA-8Mg / GA-32'' / S	GA-28'' / S	GE-0,7Mg / GA-28'' / S
Plantio Direto	Vegetação Nativa	Vegetação Nativa	SF/ GA-28'' / CA-3Mg / GN-22'' / Ar	CA-3Mg / GA-32'' / GA-28'' / S	Des / M	CA-1,5Mg / GE-1Mg / Des / M	Mil / CF	Des / M	CA-1,5Mg / GE-0,4Mg / Des / M	CA-2,5Mg / Des / Al	Des / M	Des / F
ILPF	SF/ GA-28'' / CA-3Mg / GA-32'' / GN-22''/Ar	Des/ S	GE-0,8 Mg / Des / S	Des / M /	Des / S	CA-1Mg / GE-1Mg / Des / S	GA-28'' / Esc-30cm / Euc / S	Des / S	Des / M / Brac	Pousio	Pousio	Pousio

Legenda: SF- Supressão Florestal; GA- Grade aradora seguida pelo tamanho do disco em polegadas; 2xGA- Grade aradora por duas vezes; 3xGA- Grade aradora por três vezes; GN- Grade niveladora seguida pelo tamanho do disco em polegadas; 2xGN- Grade niveladora por duas vezes; Roçadeira- Roçagem mecanizada; Esc- Escarificação seguido da profundidade de escarificação; 2xEsc- Escarificação por duas vezes; Corr- Corrente de facas; Sub- Subsolador florestal a 0,6m de profundidade; CA- Calcário dolomítico seguido pela quantidade em Mg; GE- Gesso agrícola seguido pela quantidade em Mg; Des- Dessecação para plantio; Euc- Plantio de eucalipto seguido do clone (IA 105); Ar- Arroz jogado a lança; S- Plantio de soja; M- Plantio de milho; Mil- Milheto jogado a lança; Al- Plantio de algodão; Brac- Brachiaria jogada a lança; Pousio- ausência de operações agrícolas; Pecuária- Exploração da área com bovinos de corte; 1- somente na entrelinha.

3.3. Metodologia de Coleta

Foram coletadas amostras representativas das camadas 0 a 0,1 metros e 0,1 a 0,2 metros. Cada repetição foi constituída por uma amostra indeformada do solo coletada em cilindros de aço inoxidável de 50 mm de altura e diâmetro interno de 44,42 mm com cerca de 98 cm³ de volume. A metodologia de coleta foi adentrar 50 (cinquenta) metros dentro da gleba selecionada e retirar as amostras indeformadas a um espaçamento de 3 metros uma da outra até compor as 5 (cinco) amostras indeformadas que formam as 5 (cinco) repetições de cada tratamento.

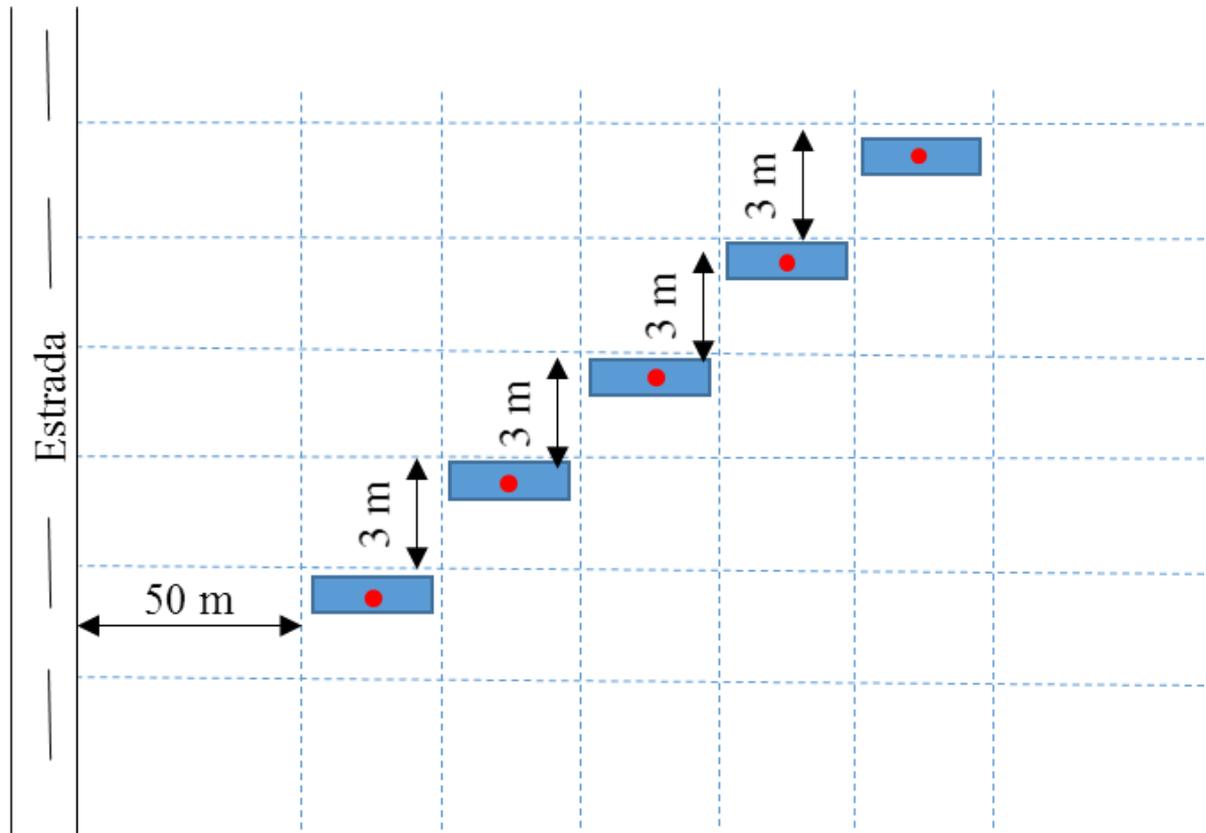


Figura 6 – Metodologia de coleta de amostras indeformadas.

3.4. Materiais para Coleta das Amostras Indeformadas

Foram utilizados quarenta (40) cilindros de aço inoxidável de 50 mm de altura e diâmetro interno de 44,42 mm com cerca de 98 cm³ de volume; oitenta (80) tampas plásticas para vedação das amostras; uma (01) haste de aço inoxidável com base de bordos limitantes para o encaixe do cilindro e uma (01) marreta de 5 kg de massa.

3.5. Análise Granulométrica de Solo

As análises granulométricas foram realizadas pelo método da pipeta e a densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico segundo EMBRAPA, (2011) (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise granulométrica para duas profundidades das áreas de uso e manejo do solo nas profundidades avaliadas.

Uso e Manejo de solo	Profundidade	Areia	Argila	Silte	Matéria Orgânica
		m	%	%	%
Mata Nativa	0-0,1	73,55	15,60	10,85	1,45
	0,1-0,2	74,04	12,05	13,91	0,78
Preparo Convencional	0-0,1	70,47	14,97	14,55	1,88
	0,1-0,2	68,01	16,30	15,69	1,86
Plantio Direto	0-0,1	69,14	13,67	17,19	1,47
	0,1-0,2	71,83	14,45	13,72	1,39
ILPF	0-0,1	72,27	13,60	14,13	1,85
	0,1-0,2	71,41	16,00	12,59	1,43

3.6. Aplicação de Tensões em Mesa de Tensão

No Laboratório de Solos do Colégio Técnico de Teresina, no Campus da Socopo-UFPI, as amostras de solo coletadas foram retiradas as tampas plásticas, em seguida, adicionadas pedaço de pano picotado e elástico de borracha, para que não houvesse perda de solo.



Figura 7 – Amostras de solo em bandeja durante pesagem.

Então, foram colocadas em badeiras plásticas e saturadas em água destilada por 24 horas e pesadas, em seguida foram colocadas em mesa de tensão e aplicadas as seguintes tensões negativas: 30 cmH₂O, 60 cmH₂O e 90 cmH₂O, e, respectivamente, pesadas em balança analítica.



Figura 8 – Mesas de tensão com amostras coletadas com amostras quando da aplicação de 30 cmH₂O.

Por fim, as amostras de solo nos cilindros foram colocadas em estufa a 105°C por 24 horas para obtenção da massa seca da amostra, em seguida foram pesados individualmente. Assim, foram obtidos valores de massa da amostra de solo.



Figura 9 – Amostras de solo no interior da estufa a temperatura de 105°C.

3.7. Estimativa do Ponto de Murcha Permanente

Segundo Klein et al. (2010), o ponto de murcha permanente pode ser calculado segundo equação de pedotransferência, obtida por meio de uso de psicrômetro onde avaliou-se amostras com teores de argila entre 12 e 77,9 % das frações granulométricas:

Equação 1 – Equação de pedotransferência de estimativa de ponto de murcha permanente (PMP) (KLEIN *et al.*, 2010).

$$\text{PMP (g. g}^{-1}\text{)} = 0,0003 * \text{Argila(g kg}^{-1}\text{)} + 0,0118$$

Assim os valores obtidos foram correlacionados à massa de solo seco obtendo desta forma estimativa da massa de água para cada amostra.

3.8. Atributos Físicos Avaliados

Densidade do solo:

Por meio do método do cilindro volumétrico, utilizou-se anéis de aço inoxidáveis com volume conhecido de cerca de 98 cm³. Pesou-se o conjunto solo + anel + pano picotado + elástico e colocou-se na estufa a 105°C por 48 horas, retirou-se e deixou esfriando, diminuiu-se massa do conjunto cilindro + pano picotado + elástico, obtendo a massa de solo de cada amostra.

Equação 2 – Determinação de densidade de solo (EMBRAPA, 2011).

$$\text{Densidade do solo (DS)} = m / V$$

Onde:

m = massa da amostra seca a 105 °C (g)

V = volume do anel ou cilindro (cm³)

Densidade real ou densidade de partículas:

Determinou-se do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa, após ter sido pesado 20g de solo de cada amostra, colocou-se em lata de alumínio de peso conhecido, levar à estufa, deixar por 6 a 12 horas, dessecar e pesar, a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C. Transferiu-se a amostra para balão aferido de 50 ml. Adicionou-se álcool etílico, agitando bem o balão para

eliminar as bolhas de ar que se formam. Prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até a ausência de bolhas e completar o volume do balão. Anotou-se o volume de álcool gasto. Aplicou-se na equação:

Equação 3 – Determinação de densidade de partículas por meio de balão volumétrico (EMBRAPA, 2011).

$$\text{Densidade de Partículas (DP)} = m / (50 - V_{\text{álcool}})$$

Onde:

D_p = Densidade de partículas (kg dm^{-3})

m = massa da amostra seca a 105°C (kg)

$V_{\text{álcool}}$ = volume de álcool gasto (m^3)

Porosidade Total:

Determinou-se o volume de poros totais das amostras de solo indeformadas por meio da seguinte equação:

Equação 4 – Determinação de porosidade total por meio das densidades real e do solo (EMBRAPA, 2011).

$$\text{Porosidade total (PT)} = 100 (DP - DS) / DP$$

Onde:

DP = densidade de partículas ou real (g cm^{-3})

DS = densidade do solo ou aparente (g cm^{-3})

Microporosidade:

Amostras saturadas foram colocadas sob a mesa de tensão a qual retira a água dos macroporos (poros com volume $0,05\text{mm}$). Após pesagem, antes e depois de ir à estufa a 105°C , obtém-se o volume de macro e microporos contidos na amostra.

Depois da mesa de tensão preparada, colocou-se os cilindros contendo as amostras depois de saturadas e pesadas sobre o mata-borrão, cobrir com bandeja de plástico e abaixar o “frasco de nível” para o nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d’água.

Após 24 horas, retiraram-se os cilindros dos seus respectivos lugares e pesou-se, repetindo a operação por mais tempo caso não se obtenha constância de pesada.

Verificar se não houve quebra da coluna d’água.

Em seguida retirar o pano e o elástico e colocar o cilindro em placa de petri, pesar e transferir para a estufa.

Após 24 e 48 horas, pesar e determinar o peso do bloco seco a 105 °C.

Equação 5 – Determinação de microporosidade do solo pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 2011).

$$\text{Microporosidade}(MiP) = (m_{60cm} - m)/V$$

Onde:

m_{60cm} = massa da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água.

m = massa da amostra seca a 105 °C (g).

V = volume do cilindro

Macroporosidade:

Volume do solo que corresponde aos poros com diâmetro $\geq 0,05$ mm.

Equação 6 – Determinação de macroporosidade (EMBRAPA, 2011).

$$\text{Macroporosidade}(MaP) = PT - MiP$$

Onde:

MaP = macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)

PT = porosidade total ($m^3 m^{-3}$)

MiP = Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)

3.9 Água Disponível

A água disponível do solo é obtida pela diferença entre capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP):

Equação 7 – Determinação da água disponível do solo.

$$\text{Água Disponível (AD)} = CC - PMP$$

Onde:

AD = Água disponível ()

CC = Capacidade de campo ()

PMP = Ponto de murcha permanente ()

3.10. Curva de Retenção de Água no Solo em Mesa de Tensão

As curvas de retenção de água de solo foram obtidas realizando diferença entre massa solo saturado, massa de solo a tensão 30 cmH₂O, massa de solo a tensão de 60 cmH₂O e massa de solo a tensão de 90 cmH₂O.

As quantidades em gramas das diferenças de massas de cada amostra para cada tensão foram multiplicadas pela densidade aparente obtendo-se valores em volume de água retida para cada amostra em cada tensão, estas foram correlacionadas as tensões respectivas 0, 30 cmH₂O, 60 cmH₂O e 90 cmH₂O onde foram calculadas por meio de gráfico de linha para cada amostra.

Aplicando-se os valores de massa de água pelo solo no software SAS avaliou-se o modelo de equação de 1° grau onde obteveram-se coeficiente da variável e ponto de intercepção da reta. Estes foram submetidos análise de variância com intuito de avaliar se houve diferença entre equações, ou seja, se uso e manejo do solo interferiu na curva de retenção de água do solo.

3.11. Análise Experimental

As amostras coletadas em áreas de uso e manejo do solo em duas camadas de solo, os valores de dados de densidade do solo (*DS*), densidade de partículas (*DP*), porosidade total (*PT*), microporosidade (*MiP*), macroporosidade (*MaP*), e água disponível (*AD*) foram submetidos a teste de médias utilizando-se o software estatístico Assistat beta 7.7, o teste de Tukey com significância de 5 %.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Após o teste de médias foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos sistemas de uso e manejo do solo e profundidade de coleta para densidade do solo e densidade de partículas, porosidade total, microporosidade e macroporosidade, assim seguem as tabelas abaixo:

Tabela 3 – Densidade do solo (DS) e densidade de partículas (DP) com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

	0-0,1 m		0,1-0,2 m		
	<i>DS</i> g cm ⁻³	<i>DP</i> g cm ⁻³	<i>DS</i> g cm ⁻³	<i>DP</i> g cm ⁻³	
MN	1,4404	ab	2,66058 A	1,51994 a	2,5454 a
PC	1,36883	ab	2,69085 A	1,44376	2,64425 a
PD	1,50424	a	2,64859 A	1,41743	2,59439 a
ILPF	1,33749	b	2,62734 A	1,35	2,66632 a
Dms	0,1491		0,18538	0,18144	0,12931
CV(%)	5,8		3,85	6,99	2,73
F crit	3,2389		3,2389	3,2389	3,2389
F calc	3,6396**		0,3356	2,4587 ^{ns}	2,8564 ^{ns}

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O atributo físico, densidade do solo, apresentou diferenças significativas, quanto aos sistemas de uso e manejo de solo, na camada de 0-0,1 m cm, (Tabela 3). Enquanto comparadas com testemunha MN, os sistemas não diferiram significativamente, PC apresentou semelhança estatística com o mesmo, porém os tratamentos PD e ILPF (1,34) diferiram significativamente entre si.

Estes resultados diferem dos encontrados por Carvalho *et al.* (2004), que trabalhando em um experimento com objetivo e avaliar a qualidade estrutural de um latossolo em sistema agroflorestal e área sobre preparo convencional apresentou densidade entre 0,84 e 0,97 g/cm³ enquanto que a área sobre plantio convencional apresentou valores 1,15 e 1,21 g cm³.

Soares *et al.* (2005), estudando o comportamento físico do latossolo vermelho em sistema de cultivo convencional encontraram uma densidade de 1,47 g cm⁻³ superior ao encontrado neste estudo, que utilizou um latossolo amarelo distrófico com valor de 1,34 g cm⁻³ de média. Tais relatos evidenciam que a densidade varia de acordo com o solo, conforme afirmado por Goedert *et al.* (2002), não havendo consenso por um valor específico.

Wendling *et al.* (2012) não encontrou interação significativa entre as áreas: (1) uma área sob cerrado *stricto sensu*, com vegetação original e sem interferência antrópica utilizada como referência; (2) uma área sob floresta de pinus (*Pinus caribae* *vr. honduriensis*) (FP), implantada em 1977, cultivada por 32 anos tem o propósito de extração de resina, e a floresta apresentava espessa camada de serapilheira na camada de 0,10 m de solo; (3) uma área sob pastagem (PA) estabelecida em 2006, prevalecendo o capim *Brachiaria decumbens*, e (4) uma área cultivada no sistema semeadura direta (SD) por 11 anos, sendo que antes do plantio direto havia vegetação de cerrado *stricto sensu* com uso contínuo do solo em sistema de sucessão e rotação de culturas (soja, sorgo e milho), e o manejo e adubação era realizado de acordo com a necessidade da cultura, no dia da amostragem esta área se encontrava com plantio de sorgo] e as profundidades estudadas em relação à densidade do solo.

As médias dos valores de densidade de partículas (Tabela 3), para camada de solo de 0-0,1 m cm foram consideradas significativamente iguais à testemunha MN, portanto depreende-se que as manchas de solo apresentaram características granulométricas semelhantes. Para camada de 0,1-0,2 m cm as médias de densidade de partículas (Tabela 3), também, não apresentaram diferenças significativas, onde a testemunha MN (2,54 g/cm³) apresentou, o menor valor, seguidos dos tratamentos PC (2,64 g/cm³), PD (2,59 g/cm³), e IPLF (2,66 g/cm³).

Tabela 4 – Atributos físicos do solo: porosidade total (PT), microporosidade (MiP) e macroporosidade (MaP) com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

	0-0,1 m			0,1-0,2 m		
	<i>PT</i>	<i>MiP</i>	<i>MaP</i>	<i>PT</i>	<i>MiP</i>	<i>MaP</i>
	m ³ m ⁻³					
MN	0,458457 ab	0,265423 b	0,193034 ab	0,402498 b	0,298163 ab	0,104335 b
PC	0,490633 a	0,297228 a	0,193404 ab	0,454543 ab	0,319134 a	0,135409 ab
PD	0,431999 b	0,297853 a	0,134146 b	0,453893 ab	0,279548 b	0,174345 ab
ILPF	0,491448 a	0,267753 b	0,223695 a	0,493482 a	0,288034 ab	0,205448 a
Dms	0,0487732	0,025792	0,060655	0,062150	0,0353797	0,0904037
CV(%)	5,75	5,05	18	7,61	6,59	32,23
F crit	5,2922	5,2922	5,2922	5,2922	3,2389	3,2389
F calc	5,629**	7,8983**	6,2626**	5,914**	3,8166*	3,9269*

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de porosidade total (Tabela 4), diferiram significativamente entre os sistemas de uso e manejo do solo para duas camadas, 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

Os valores médios de ILPF e PC apresentaram os maiores volumes de porosidade total, mas não diferiram significativamente da testemunha MN, que por sua vez foi considerada semelhante aos menores valores apresentados pelo PD.

Comportamento semelhante foi encontrado por Cruz *et al.* (2003), onde observaram maior porosidade total em um sistema de cultivo convencional do que mata nativa e sistema de plantio direto na camada de 0-0,1 m de profundidade.

O atributo porosidade total (Tabela 4) apresentou, para camada 0-0,1 m cm, valores superiores para os sistemas ILPF (49,14%) e PC (49,06%), não diferiram significativamente da testemunha, MN (45,84 %), mas diferiram significativamente do sistema PD (43,20 %). Os valores inferiores para o sistema PD podem ser explicados pelo intenso tráfego de máquinas pesadas nesses sistemas (CHAVES *et al.*, 2012).

O sistema PC provavelmente melhores resultados devido a sua conversão em lavoura ter ocorrido a pouco tempo (Tabela 1), vindo de MN, outra possibilidade é o preparo do solo que ocorre principalmente na camada de 0 a 0,2 metros, proporcionando maior desagregação do solo (LOSS *et al.*, 2014).

Tal como neste trabalho, o sistema de semeadura direta apresentou a menor porosidade total na camada de 0-0,10 m enquanto os maiores níveis foram identificados no solo da área com pinus (WENDLING *et al.*, 2012).

Diferente deste estudo, Rossetti e Centurion (2015) verificaram que o sistema PD tende a aumentar com o tempo a porosidade total do solo, e após 10 anos apresentou maior porosidade do que a MN em um Latossolo Vermelho. Já Silva *et al.* (2005), explica que o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade quando comparado aos demais sistemas, isso pode explicar porque o sistema PC apresentou melhores indicadores de porosidade total. Esses mesmos autores afirmam que mencionado efeito é, entretanto, eliminado pelo adensamento natural do solo com passar dos anos.

Valores semelhantes encontrados por Araújo *et al.* (2004), ao comparar solo cultivado com áreas sobre mata nativa verificaram a diminuição da macroporosidade e porosidade total, também sem aumentos na microporosidade.

Para camada de 0,1-0,2 m cm, os valores de microporosidade, o tratamento PD (27,95 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) apresentou menores valores, mesmo não diferindo significativamente da testemunha MN (29,82 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), que igualou-se ILPF (28,80 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), e foram superados pelos PC (31,91 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

O sistema PC apresentou os maiores índices de microporosidade devido à utilização de implementos desagregadores associados ao uso de corretivos agrícolas. Tavares Filho *et al.* (2012), observaram que no sistema PC, no qual a densidade e a microporosidade de um Latossolo Vermelho foram superiores em relação ao sistema PD com escarificação quadrianual. Os menores valores de microporosidade apresentados pelo sistema PD, provavelmente estão relacionados ao tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo (TAVARES FILHO *et al.*, 2012).

O atributo macroporosidade (Tabela 4) apresentou, para camada 0-0,1 m cm, ILPF (22,37) apresentou maiores valores, que assemelhou-se a testemunha MN (19,30), apresentaram valores inferiores PC (18,66) e PD (13,41) que diferiram entre si. Observando os dados para camada de 0,1-0,2 m cm, obteve-se o sistema ILPF (20,54) apresentou maior valor, seguido pelo PD (17,43) que equiparou-se ao PC (13,54) e SILV (11,65) mas não diferiram significativamente da testemunha MN (10,43) também considerada semelhante a PAS (9,79).

De Araújo *et al.* (2012) perceberam redução no número dos macroporos pode ocorrer devido à pressão mecânica de máquinas agrícolas; à compressão do ar nos microporos dos agregados, durante o os ciclos de umedecimento e secagem do solo; à força cinética da gota da chuva; à aração profunda e ao entupimento dos microporos; e ao baixo conteúdo de matéria orgânica e nutrientes.

Conforme Wendling *et al.* (2012), em relação à macroporosidade os valores encontrados apresentaram diferenças significativas entre as áreas analisadas, sendo que o solo submetido ao sistema de semeadura direta apresentou menor porcentagem de macroporos e a área com pinus apresentou maior porcentagem, tanto para camada de 0-0,10 m (0,03 e 0,28 m³ m⁻³, respectivamente), quanto para a camada de 0,10- 0,20 m (0,05 e 0,17 m³ m⁻³, respectivamente), reafirmando dados deste trabalho. Em contrapartida, o solo da área de floresta de pinus apresentou o menor adensamento nas duas profundidades analisadas. Este fato pode ser explicado devido tratar-se de áreas onde não ocorrem os efeitos do trânsito constante de máquinas e equipamentos. Andrade *et al.* (2009) analisando um Latossolo encontrou resultado semelhante, constatando ainda, que solos de mata e campos nativos apresentam maior macroporosidade, comparativamente aos solos cultivados.

Divergindo do que foi observado neste estudo, Cunha *et al.* (2001), avaliando o impacto do cultivo convencional sobre as propriedades físicas de uma Latossolo Vermelho Amarelo originalmente soba cerrado, concluíram que o sistema, já nos três primeiros anos de

uso agrícola, ocasionou grande deterioração nas propriedades físicas do solo, como densidade e porosidade.

Cruz *et al* (2003), concluiu que geralmente em sistemas com revolvimento do solo observam-se valores mais elevados de macroporosidade logo após o preparo de, que tendem a diminuir com passar do tempo, e que pode ser principalmente justificado para as divergências de resultados entre os trabalhos comparando os sistemas de preparo de solo e mata nativa.

Água disponível

Os valores de água disponível oscilaram entre 0,12 a 0,16 g g⁻¹ para camada de 0-0,1 m e 0,14 a 0,16 para camada de 0,1-0,2 m.

Tabela 5 – Médias de água disponível com relação aos sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

	0-0,1 m	0,1-0,2 m
	<i>AD</i>	<i>AD</i>
	g g ⁻¹	g g ⁻¹
MN	0,12594 b	0,14819 a
PC	0,16104 a	0,16120 a
PD	0,14521 a	0,14232 a
ILPF	0,14789 a	0,15387 a
Dms	0,01833	0,02082
CV(%)	6,98	7,59
F crit	5,2922	3,2389
F calc	10,232**	2,4574 ^{ns}

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

**Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de AD apresentaram diferenças significativas entre sistemas de uso e manejo do solo quando avaliados pelo teste de médias de Tukey a 5% de significância.

Os valores médios de AD para camada 0-0,1 m cm, destacaram-se os todos tratamentos, PC, PD e ILPF, que foram considerados superiores a testemunha MN. Para o PC deve-se pelos maiores valores de matéria orgânica no solo, conforme Tabela 5. Para PD e ILPF pode ser explicado pela estabilidade da matéria orgânica pelo não revolvimento do solo.

O conteúdo de água disponível (AD) reflete as alterações na estrutura do solo em virtude das alterações do espaço poroso, que atua na retenção de água em potenciais mais elevados e, portanto, mais facilmente disponível às plantas. O tráfego reduziu

significativamente os valores do AD, em ambas as amostragens, até a profundidade de 0,10-0,20 m (TORMENA *et al.*, 1998).

Para camada 0,1-0,2 m cm, todos os tratamentos apresentaram semelhança estatística, evidenciando que apesar da ação antrópica na camada 0-0,1 m, esta camada sofre pequena influência.

Curvas de retenção de água em tesa de tensão

As curvas médias de retenção de água no solo para cada uso e manejo de solo nas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

Tabela 6 – Coeficientes das equações de 1º grau obtidas pela análise de regressão das curvas retenção de água do solo para os quatro tratamentos em duas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

	0-0,1 m			0,1-0,2 m		
	<i>variável</i>	<i>intercept</i>	<i>R²</i>	<i>variável</i>	<i>intercept</i>	<i>R²</i>
MN	-10,85136	65,6680	0,9499	-7,17058	57,12640	0,9743
PC	-11,36488	71,0758	0,9575	-8,11962	63,67540	0,9114
PD	-9,23142	63,2810	0,9769	-10,33680	64,88660	0,9693
ILPF	-11,88980	67,1856	0,9739	-11,53740	69,84100	0,9551
Média	-10,8344	66,8026	0,96243	-9,2911	63,88235	0,94973

Avaliadas as curvas de retenção para cada camada obteve-se que o modelo em equação de 1º grau onde a variável em função da pressão obtiveram significância para o modelo matemático, porem as curvas não apresentaram diferença significativa entre coeficientes da equações para cada uso e manejos de solo estudos evidenciando a utilização de uma curva que representa a retenção de água do solo pelo modelo de equação em 1º grau.

5. CONCLUSÕES

Levando em consideração aos resultados obtidos no presente trabalho nas condições avaliadas concluiu-se que:

O sistema ILPF se destacou em relação aos demais uso de manejo de solo quanto aos atributos: porosidade total, densidade do solo e macroporosidade.

O sistema de preparo convencional obteve os melhores resultados nos atributos teores de microporosidade e água disponível.

Os atributos físicos do solo: porosidade total, microporosidade e macroporosidade, sofrem forte influência com o uso e manejo de solo em relação a profundidade do solo até 0,2 m.

O modelo de equação linear foi considerado significativo para representar as curvas de retenção neste trabalho, porem não diferiu os tratamentos avaliados.

As curvas de retenção em mesa de tensão para cada uso e manejo de solo nas camadas apresentaram comportamento semelhantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, Associação brasileira de produtores de florestas plantadas, **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

AGUIAR T. J. A.; MONTEIRO M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: A ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade** 2005; 8(2): 1-18.

AGUIAR, T. J. A. O processo de ocupação e uso do cerrado piauiense. In: VI Encontro Nacional da ECOECO, 2008, Brasília – DF. **Anais**. Rio De Janeiro: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. v. 1., 6, 2010.

ARAÚJO, F. S. et al. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.

ARAÚJO, M. A. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.

BARBOSA, A. M. Análise da Paisagem do Cerrado Piauiense: Uma Proposta de Avaliação a Partir do Modelo do GTP (Analysis of landscape piauiense savannahs: a proposal evaluation from model GTP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 710-715, 2014.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.681-691, 2010.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.

BEUTLER, A. N., CENTURION, J. F., SOUZA, Z. M., ANDRIOLI, I., & ROQUE, C. G. (2002). Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 26, 829-834.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; LEONEL, C. L.; SÃO JOÃO, A. C. G.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31:1223- 1232, 2007.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.

BOULAL, H.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil e Tillage Research**, v.115, p.62–70, 2011.

BRACELPA - Relatório Industria Brasileira de Árvores 2014, disponível em <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf> acesso 9 fev 2015.

BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A.; XU, X.; REDO, D. Land Change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative Analysis and Implications for Land-Use Policy. **Land Use Policy**, v.25, n. 4, p. 455-608, 2008.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington: **Department of Agriculture**, 1912. 83 p. (Bulletin, 230).

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

CAVALIERI, K. M. V., TORMENA, C. A., VIDIGAL FILHO, P. S., GONÇALVES, A. C. A., & COSTA, A. D.. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CHIODEROLI, C. A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. e KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 933-942, 2008.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 2 – Safra 2014/15, n. 3 – **Terceiro Levantamento**, dez. 2014.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Séries estatísticas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 Abr. 2015.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICKZUK, J. e SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. V.29, p.777-788, 2005.

COSTA, G. D. et al. Influência da Adubação nos Atributos Microbiológicos do Solo na Produção de Milho Silagem. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 9, n. 1, 2014.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. Embrapa milho e sorgo: **cultivo do milho**. 2ª ed Dezembro 2006.

SILVA, L. R. R. et al. Relação Entre Carbono Orgânico Total e a Textura do Solo em um Neossolo Flúvico sob Diferentes Usos. In: XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA. 2014.

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research e Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

LIMA, C. L. R.; REINERT, J. M.; REICHERT, D. J.. Densidade Crítica ao Crescimento de Plantas Considerando Água Disponível e Resistência à Penetração de um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1166-1169, 2007.

DEBLITZ, C. 2012 Beef and Sheep Report: understanding agriculture worldwide. agri benchmark. 2012. Disponível em: Acesso em: 20 out. 2014.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia, 2014.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. **SSSA special publication**, v. 49, p. 25-38, 1996.

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

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

DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n.1, p. 3-11, 2000.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**, 2º edição revista, 230 p., 2011.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B.. Determinação de capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 1029-1036, 2000.

FALEIRO, F. G.; GAMA, L. C.; FARIAS NETO, A. L.; SOUSA, E. S. O SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O CERRADO E O SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SAVANAS TROPICAIS, In: FALEIRO, F. G. e FARIAS NETO, A. L. (Ed.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. Cap. 1, p.33-48.

FAO - ALEXANDROS, N., BRUINSMA, J., BODEKER, G., BROCA, S., e OTTAVIANI, M. World agriculture towards 2030/2050. **Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2012.

FAO, Food and Agriculture Organizaton of the United Nations, 2012. Conservation Agriculture Adoptions Worldwide. <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html> (acesso 10 out 2014).

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. Conservation Agriculture Adoptions Worldwide. Disponível em <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>> (acesso 10 out 2014).

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FERREIRA, E. A. B., RESCK, D. V. S., GOMES, A. C., & RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.31, p.1625-1635, 2007. LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (Tese Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), 2011.

FERREIRA, E. A. B., RESCK, D. V. S., GOMES, A. C., e RAMOS, M. L. G. Dinâmica do Carbono da Biomassa Microbiana em Cinco Épocas do Ano em Diferentes Sistemas de Manejo do Solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.31, p.1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, C. C. de; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades Físicas e Matéria Orgânica de um Latossolo Vermelho sob Sistemas de Manejo e Cerrado Nativo. 2008.

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.D.B. e FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31:771-780, 2007.

FOLLET, R.F. e SCHIMMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, V.53:p.1091-1096, 1989.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. de; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FRANZLUEBBERS, A. J. soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Tillage Research**, 66, p.95-106, 2002.

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

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v.8, p.223–241, 1999.

GAMA-RODRIGUES, Emmanuela Forestieri da et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, Dec. 2005.

GIESTEIRA, M. Seminário debate uso sustentável do solo. Publicado em 11 de abril de 2011. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2011/04/seminario-debate-uso-sustentavel-do-solo>>. Acesso em 9 fev 2015.

GOEDERT, W. e OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 991-1017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sidra – Banco de dados agregados. Brasília: **IBGE**, 2012.

KARIA, C. T.; ANDRADE, R.P.; FERNANDES, C.D.; SCHUNKE, R. M. Gênero *Stylosanthes*. In: Fonseca, D. M; Martuscello, J.A. Plantas Forrageiras, Editores – Viçosa, MG: **Ed. UFV**, 2011. p 366-401.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHEKI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil e Tillage Research**, v.133, p.25-31, 2013.

KLEIN, V. A., BASEGGIO, M., MADALOSSO, T. e MARCOLIN, C. D. (2010). Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência. Rural**, 40(7), 1550-1556.

KRAMBERGER, B.; GSEIMAN, A.; JANZEKOVIC, M.; KALIGARIC, M.; BRACKO, B. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 31, n. 2, p. 103-109, 2009.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. **Science**, v.304, p.1623, 2004.

LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.5. p.374-381, 1999.

LEITE, L. F., GALVÃO, S. R., HOLANDA NETO, M. R., ARAÚJO, F. S., e 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, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LOPES, Mauricio Antônio; NASS Luciano L.; MELO, Itamar S. de. Bioprospeção. In: BORÉM, Aluizio. Biotecnologia e meio ambiente. Viçosa: [s.n.], 2008

LOSS, Arcângelo et al. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 113, n. 1, p. 1-8, 2014.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Campo Grande. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARTHA JUNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, Jul. 2012.

MATIAS, S. S. R et al. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, p. 414-420, 2012.

MATOS P. F. A consolidação da modernização agrícola no Cerrado e os impactos ambientais. **Revista Mediação**, 2006; v.01, n.01.

NASCENTE, A. S., CRUSCIOL, C. A. C., 2012. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47, 187–192.

NICOLOSO R. S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. **Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria-RS. (Dissertação de Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo), 2005.

NICOLOSO, R.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1724, 2008.

NICOLOSO, R.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1723-1724, 2008.

PACHECO, L. P., SOUSA MONTEIRO, M. M., SILVA, R. F., SANTOS SOARES, L., FONSECA, W. L., NÓBREGA, J. C. A. e OSAJIMA, J. A. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 237-246, 2013.

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 de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.

PROCÓPIO, S. O. et al. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta daninha**, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004.

RALISCH, R. et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

RESCK, D. V. S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., Brasília, 1996. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: Anais / Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the tropical savannas: Proceedings. Planaltina, **Embrapa-CPAC**, p. 81-89, 1996.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. N.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. DE; VILLANI, E. M. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1157-1164, 2010.

ROMEIRO, A. R. Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura. São Paulo: **FAPESP**, 1998.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 252-258, 2015.

- SANTILLI, J. Agrobiodiversidade e direitos dos agricultores. São Paulo: Peirópolis, 2009.
- SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURASHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F.A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do cerrado brasileiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.28, n.3, p.313-321, 2006.
- SANTOS, M. Por uma globalização: do pensamento único à consciência universal. 13. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 133-142, 2014.
- SILVA, C. G. DA.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. DE. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.144-153, 2005.
- SILVA, C. R. da; SOUZA, K. B. de; FURTADO, W. F. Evaluation of the Progress of Intensive Agriculture in the Cerrado Piauiense–Brazil. **IERI Procedia**, v. 5, p. 51-58, 2013.
- SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Evaluation of the Progress of Intensive Agriculture in the Cerrado Piauiense–Brazil. **IERI Procedia**, v. 5, p. 51-58, 2013.
- SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Evaluation of the Progress of Intensive Agriculture in the Cerrado Piauiense–Brazil. **IERI Procedia**, v. 5, p. 51-58, 2013.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. e KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, 34:755-760, 2004.
- TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; CURMI, P.; TESSIER, D. Physical properties of an Alfisol and no-till soybean yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.253-260, 2012.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.
- URSULINO, D. et al. Avaliação da qualidade de solos através de indicadores físicos e mineralógicos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 179-186, 2014.
- VALICHESKI, R. R. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **R Bras Eng Agríc Amb**, v. 16, p. 969-77, 2012.
- VIANA, M. C. M. et al. INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO ESTADO DE MINAS GERAIS. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO AGROMINAS, 2013, Governador Valadares. O agronegócio regional em evidência. Governador Valadares: AgroMinas, 2013., 2014.
- VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. e BARCELLOS, A. O. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRA, F. G. e FARIAS NETO, A.

L. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina / Brasília: Embrapa Cerrados / **Embrapa Informações Tecnológicas**, cap. 30, p. 933-962, 2008.

VITÓRIA, E. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de *Brachiaria brizantha*, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de manejo do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 909-919, 2012.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M. e BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto= Density, porosity and soil aggregation in areas of cerrado conversion in pine forest, pasture and no-tillage. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.