



**ADRIANO GONÇALVES DE CAMPOS**

**SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO POR 20 ANOS INFLUENCIANDO  
AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO**

**SETE LAGOAS / MG  
2016**



**ADRIANO GONÇALVES DE CAMPOS**

**SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO POR 20 ANOS INFLUENCIANDO  
AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO**

**SETE LAGOAS / MG  
2016**

**ADRIANO GONÇALVES DE CAMPOS**

**SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO POR 20 ANOS INFLUENCIANDO  
AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) pela Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas – MG, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas**

**Coorientador:**

**Prof. Dr. Bruno Montoani Silva**

**SETE LAGOAS / MG**

**2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Divisão de Biblioteca da UFSJ, MG, Brasil.**

---

C198s Campos, Adriano Gonçalves de, 1983 -  
2016 Sistemas de preparo do solo por 20 anos influenciando as propriedades físicas de um Latossolo / Adriano Gonçalves de Campos. -- 2016.  
81 f.

Orientador: Diego Antônio França de Freitas.  
Coorientador: Bruno Montoani Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

1. Solo - Manejo - Teses. 2. Latossolo - Manejo - Teses. 3. Milho - Cultivo - Solo - Teses I. Campos, Adriano Gonçalves de. II. Freitas, Diego Antônio França de. III. Silva, Bruno Montoani. IV. Universidade Federal de São João Del-Rei. Graduação em Engenharia Agrônômica. V. Título.

---

CDU: 63

**ADRIANO GONÇALVES DE CAMPOS**

**SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO POR 20 ANOS INFLUENCIANDO  
AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) pela Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas – MG, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas**

**Coorientador:**

**Prof. Dr. Bruno Montoani Silva**

Sete Lagoas, 26 de Fevereiro de 2016.

Banca Examinadora:

Pesq. Dr. Maurílio Fernandes de Oliveira – Embrapa Milho e Sorgo

Prof. Dr. Samuel Petraccone Caixeta – Universidade Federal de São João Del Rei

---

Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas - (UFV)  
Orientador

**“O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais, mas sim, um patrimônio que tomamos emprestado de nossos filhos” (L. Brown).**

**Dedico este trabalho primeiramente a Deus que iluminou o meu caminho durante esta longa jornada e aos meus amigos e familiares.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por mais essa vitória em minha vida, fortalecendo-me nos momentos em que fui incapaz de caminhar sozinho e aos meus familiares que sempre mostraram o quanto é importante a educação e humildade na vida de um homem.

À Universidade Federal de São João Del Rei pela concessão da bolsa, ao Departamento em Ciência do solo (DCIAG) e ao programa de pós-graduação em Ciência Agrária (PPGCA) da UFSJ/ Campus Sete Lagoas pela oportunidade de realização do mestrado.

A minha namorada Martha Cristina Pereira Ramos pela compreensão, amor, carinho e apoio durante o decorrer do mestrado.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, sem o qual essa pesquisa não teria sido realizada, ao Pesquisador Dr. Maurilio de Oliveira Fernandes por ter me apoiado e dado todo suporte quanto ao desenvolvimento do trabalho. Aos funcionários Sr. Deivison, Cleber e Geraldinho que me auxiliaram nas amostragens e coletas de solo. À Hosana que me deu um apoio inicial no laboratório de física do solo.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Bruno Montoani Silva pela paciência e comprometimento no desenvolver do trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas, pela confiança e ensinamentos na vida profissional.

Aos professores e pesquisadores membros da banca por estarem presentes nesta etapa.

E a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho e acreditaram em nós.

**Muito obrigado!**

## SUMÁRIO

	Página
Introdução Geral .....	1
Referências .....	8
<b>ARTIGO I - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS VINTE ANOS DE MANEJO COM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E CULTIVO</b> .....	16
Introdução .....	19
Material e Métodos .....	20
Caracterização da Área Experimental .....	20
Amostragens e Avaliações .....	23
Análise Estatística .....	24
Resultados e Discussão .....	24
Conclusões .....	32
Referências .....	33
<b>ARTIGO II - REGRESSÕES LINEARES NA ESTIMATIVA DA QUALIDADE FÍSICA PARA LATOSSOLO ÓTIMA PARA MILHO</b> .....	42
Introdução .....	45
Material e Métodos .....	47
Caracterização da Área Experimental .....	47
Amostragens e Avaliações .....	48
Análise dos Dados .....	50
Resultados e Discussão .....	51
Conclusões .....	59
Referências .....	60
Considerações Finais .....	69
Anexos: .....	70

## **SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO POR 20 ANOS INFLUENCIANDO AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO**

**RESUMO** - A desordenada expansão e ocupação dos solos do cerrado brasileiro aliada à necessidade de exploração sustentável dos recursos naturais podem degradar o solo, sendo necessário um conhecimento e detalhamento de suas características básicas. Do ponto de vista agrônomo, o sistema de manejo deve colaborar para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e o ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas em longo prazo. O objetivo desse trabalho foi analisar as alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, numa área submetida, por 20 anos consecutivos, a seis diferentes sistemas de preparo. O experimento está instalado na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, município de Sete Lagoas -MG. Os manejos propostos para desenvolver esse trabalho foram aqueles mais difundidos pelos agricultores sendo eles: Grade aradora, Arado de aiveca, Arado de disco, Arado de disco/Grade aradora, Semeadura direta e Área de cerrado nativo, sendo esse a testemunha. O delineamento estatístico proposto foi em blocos casualizados (DBC) e a amostragem do solo ocorreu em um Latossolo Vermelho cultivado com milho desde 1995, sendo o preparo do solo e semeadura realizados entre os meses de outubro a novembro, em parcelas que possuem dimensões de 20 m x 16 m. A amostragem foi realizada com três repetições e em quatro profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm), totalizando 72 amostras experimentais. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: textura, índice de estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, curva de retenção de água no solo e índice S. Foram incluídos ainda matéria orgânica, diagramas radiais avaliando a qualidade do solo e regressões lineares. Conclui-se que a adoção do sistema de preparo convencional por longos períodos altera a estrutura do Latossolo Vermelho distrófico, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e diminuição da estabilidade de agregados (DMG, DMP e IEA) quando comparados com a SD e a CN. O sistema arado de disco/ grade aradora apresentou um aumento da densidade do solo, redução da matéria orgânica, da capacidade de água disponível e da macroporosidade. Os métodos de preparo alteraram a curva de retenção de água do solo (CRA) quando comparado à área de cerrado nativo, com redução da umidade associada aos maiores potenciais, destacando o tratamento arado de disco/ grade aradora principalmente na camada até 20 cm, portanto foram menos efetivos em promover condições favoráveis às plantas. O sistema de semeadura direta proporcionou os melhores resultados na qualidade física do solo para os atributos MOS, DMG, DMP, IEA e classes de agregados de 8 - 2 mm.

**“Palavras-chave:”** Preparo do Solo; Atributos físicos; Agregação

Comitê Orientador: Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas – UFSJ (Orientador), Prof. Dr. Bruno Montoani Silva – (Coorientador)

## SOIL PREPARATION SYSTEMS FOR 20 YEARS AS INFLUENCING PHYSICAL PROPERTIES OF A LATOSOL

**ABSTRACT** - The disorderly expansion and occupation of the Brazilian cerrado soils allied to the need for sustainable use of natural resources can degrade the soil, requiring a necessary knowledge and detailing of its basic characteristics. From the agricultural point of view, the management system must contribute to the maintenance or improvement of soil quality and the environment as well as to obtain adequate yields of long-term cultures. The aim of this study was to analyze the changes in the physical properties of a Red Latosol in a subject area, for 20 consecutive years, six different preparation systems. The experiment is installed at the experimental station of Embrapa Corn and Sorghum, Sete Lagoas – MG, Brazil. The management proposed to develop this work were those most disseminated by farmers being: disc harrow, plow moldboard, plow disc, plow disc / disc harrow, direct seeding and native cerrado area, and the last one being the witness. The proposed experimental design was a randomized block design (DBC) and the soil sampling occurred in a Red Latosol cultivated with corn since 1995, being the soil preparation and seeding carried out between the months of October to November, in plots that have dimensions of 20x16 m. The sampling was conducted with three replications and four depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20 - 40 cm), totaling 72 experimental samples. It was evaluated the following physical attributes: granulometry, aggregate stability index, soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, water retention curve in the soil and the S Index. It was also included organic matter, radial diagrams evaluating the soil quality and linear regressions. It follows that the adoption of the conventional preparation system for long periods of time alters the structure of the Dystrophic Red Latosol, mainly observed by the increased density in the subsurface and decreased aggregate stability (DMG, DMP and IEA) when compared to the SD and CN. The plow disc / harrow system showed an increase of soil density, reduction of organic matter, available water capacity and macroporosity. The methods of preparation changed the soil water retention curve (CRA) when compared to the native cerrado area with reduction of the moisture associated to the higher potentials, highlighting the plow disc / disc harrow treatment mainly in the layer up to 20 cm, so it was less effective in promoting favorable conditions for plants. The direct seeding system provided the best results in the soil physical quality for the SOM, DMG, DMP, IEA attributes and 8-2 mm aggregate class.

**“Keywords:”** Soil Preparation; Physical attributes; Aggregation

Guidance Committee: Prof. Dr. Diego Antônio França de Freitas – UFSJ (Adviser), Prof. Dr. Bruno Montoani Silva – (Coadviser)

## Introdução Geral

O crescente aumento do consumo mundial de milho tem levado a uma pressão cada vez maior para aumento da produção deste cereal. O milho é uma planta da família das Gramíneae/Poaceae, espécie *Zea mays*, sendo um dos principais cereais cultivados no mundo devido às diversas formas de utilização possíveis e ao elevado potencial produtivo. O cultivo do milho apresenta grande importância socioeconômica, principalmente por ser produzido em pequenas e médias propriedades, resultando na principal fonte de renda a esses produtores rurais (Martins, 2010).

A utilização do milho para alimentação animal representa 70% do consumo desse cereal no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% do milho é destinado a esse fim, enquanto no Brasil varia de 60 a 80% (Duarte et al., 2010). Na safra 2014/2015 foram plantados 15,5 milhões ha, com produtividade média nacional de 4598 Kg ha. As regiões Sul e Centro-Oeste do país se destacam na produção deste cereal, apresentando produtividade média de 4974 kg ha, acima, portanto da média nacional (Conab, 2015).

A exploração intensiva dos solos e dos sistemas de produção agrícola do milho e de outros cereais, sem utilização de práticas de manejo adequada no Brasil, tem proporcionado a perda de qualidade dos solos (Vasconcelos et al., 2010), com reflexos na produtividade e consequentemente na rentabilidade do produtor (Godefroy & Jacquín, 1975, Centurion et al., 2001; Brighenti et al., 2012).

De acordo com Altieri & Navarro (1998), dentre os principais problemas desse modelo agrícola estão a perda da biodiversidade e a degradação dos solos, que começam com o desmatamento para formação de pastos e áreas agricultáveis. Dessa maneira, o uso sustentável dos recursos naturais, como o solo e a água, tem-se constituído em tema de crescente importância, para a manutenção da qualidade desses recursos (Souza, 1993, Araújo et al., 2007, Fialho et al., 2008, Pignataro Netto et al., 2009, Bognola et al., 2010, Bavoso et al., 2010).

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas pode ser avaliada através dos atributos físicos dos solos empregados no monitoramento da sua qualidade (Doran & Parkin, 1994). A qualidade física do solo é definida como a capacidade em servir uma função dentro dos limites de um ecossistema e de interagir positivamente com o ambiente externo a ele (Larson & Pierce, 1994, Tormena et al., 1998). O solo estabelecido sob vegetação nativa apresenta

características físicas preservadas, tais como estrutura, densidade, porosidade e permeabilidade (Andreola et al., 2000).

Ao passo que, quando um solo é alterado, passando de vegetação nativa para fins agrícolas, as propriedades físicas sofrem consequências, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (Centurion et al., 2001, Muller et al., 2001, Bertol et al., 2001, Bertol et al., 2004), tais como redução do volume de poros, dos fluxos de água no solo, da aeração, da agregação do solo e aumento da resistência à penetração das raízes (Letey, 1985, Portella et al., 2012), e assim, a disponibilidade de água (Costa et al., 2003) e nutrientes às plantas (Ciotta et al., 2003) e o crescimento radicular são alterados (De Maria et al., 1999).

De acordo com Marchão et al. (2007), as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são componentes importantes relacionados à produtividade, visto que as plantas carecem de solos bem estruturados, sendo por isso, a escolha do sistema de manejo um dos passos de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema, e deve variar de acordo com cada tipo de solo.

Em física do solo, a qualidade está aliada àquele solo que possui uma boa infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas em superfície e subsuperfície, permite as trocas gasosas e de calor com a atmosfera e com sistema radicular das culturas, responde ao manejo, resiste à degradação, e permite o crescimento e desenvolvimento das raízes (Reichert et al., 2003). Segundo Doran & Parkin (1994), a maioria dos estudos na área de qualidade do solo está associada à identificação de um parâmetro capaz de servir como um indicador, tendo o intuito de avaliar o uso de práticas de manejo do solo, monitorando no tempo as mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental.

Dessa forma, Stenberg (1999) menciona que nenhum indicador, sozinho, vai conseguir quantificar e descrever de forma sólida todos os aspectos relacionados à qualidade do solo, pois deve haver uma relação entre todos os atributos do solo. Segundo Ingaramo, (2003) e Araujo et al. (2012), para se ter uma boa avaliação da qualidade do solo, devemos considerar as principais propriedades e fatores físicos para descrevê-la, sendo elas: porosidade, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanhos de partículas e profundidade em que as raízes crescem e desenvolvem.

Para aferir essa qualidade física do solo devem ser selecionados indicadores sensíveis às mudanças provocadas pelo manejo (Doran & Parkin, 1994, Niero et al., 2010). Definidos,

esses indicadores podem ser monitorados e acompanhados de forma a estimar-se o impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo em médio e longo prazo (Chaer & Tótola, 2007, Niero et al., 2010, Chaves et al., 2012). A manutenção das principais propriedades físicas do solo, como a estrutura e a distribuição de tamanho de poros, de acordo com (Lal, 1999) ajuda a promover a infiltração da água e a aeração estimulando o desenvolvimento das raízes das plantas e provocando alterações nos processos de compactação e adensamento.

Segundo Santos & Reis (2003), o sistema radicular e a produtividade das plantas sofrem influência direta das propriedades físicas do solo. Assim, os atributos do solo, como a densidade, porosidade, condutividade hidráulica, curva característica de retenção de água e resistência do solo à penetração são frequentemente utilizados como indicadores da qualidade física do solo, por ser de fácil determinação e baixo custo de obtenção dos resultados (Araújo et al., 2012).

A densidade do solo por possuir uma baixa relação com outros atributos é largamente utilizada como indicador na maioria das pesquisas e converge para o fato de que, com a elevação da densidade do solo, ocorre redução da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como um aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração de raízes (Lima et al., 2007).

A densidade do solo está relacionada com vários atributos do solo que ajustam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, como: a condutividade de água, o calor, a aeração, a disponibilidade de nutrientes e a resistência à penetração do solo (Stone & Silveira, 2001).

O acompanhamento e monitoramento da qualidade do solo devem ser direcionados para identificar tendências de mudanças, principalmente de forma a indicar os estágios primários das alterações, sem que haja degradação acelerada do solo. Esse monitoramento pode ser feito na propriedade rural em questão ou até mesmo em níveis mais abrangentes, como micro bacia hidrográfica e região.

Segundo Araújo et al. (2007), técnicas de manejo e conservação do solo e da água precisam ser planejadas e realizadas procurando manter ou melhorar seus atributos, de modo a acrescentar a capacidade do solo em sustentar ou melhorar sua produtividade agrônômica, sem afetar a qualidade do solo e da água. A quantificação e a compreensão do impacto das práticas de manejo sobre a qualidade física do solo são de grande importância no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Dexter & Youngs, 1992).

É importante salientar que os aspectos estruturais do solo são interligados por diversos fatores, como a natureza do solo, em especial sua granulometria e arranjo de poros, sendo também influenciados pela matéria orgânica e pela atividade biológica do solo, ou seja, pelas raízes, pela fauna do solo (Gonçalves & Stape, 2002).

Segundo Kiehl (1979), o solo é um sistema trifásico, onde a caracterização de sua porosidade total é de suma importância para escolha de um manejo adequado, pois este atributo está inteiramente relacionado à dinâmica do armazenamento e do movimento de solutos e de trocas gasosas no seu interior, que são essenciais ao bom funcionamento dos processos bioquímicos das plantas, especialmente aqueles relacionados com a produtividade dos vegetais.

Tongnon (1991) menciona que a porosidade do solo está diretamente relacionada com a condução e retenção de água, aeração, resistência à penetração, ramificação das raízes no perfil do solo e no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis. Então, um solo definido como ideal deve oferecer um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas (Hillel, 1980).

Os microporos são os poros responsáveis pelo armazenamento de água no perfil do solo, e os macroporos são os poros que possuem funções pela drenagem e aeração do solo Aratani (2008). Com isso, a distribuição e classificação dos poros por tamanhos resultam no comportamento físico-hídrico do solo, podendo influenciar no que se refere à potencialidade agrícola dos solos.

De acordo com Lima et al. (2007), a porosidade do solo é mencionada como ideal quando se apresenta com  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  do seu volume total, com microporosidade variando entre  $0,25$  e  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e a macroporosidade entre  $0,17$  e  $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Aratani (2008) relata que a quantidade de macroporos destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. A porosidade de aeração deve ser superior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para permitir as trocas gasosas e o crescimento de raízes da maioria das culturas (Taylor & Ashcroft, 1972).

Araujo et al. (2004) assegura que em um solo degradado, além da redução da quantidade de água disponível, a taxa de difusão de oxigênio e a resistência do solo à penetração limitam o crescimento e desenvolvimento das culturas. São caracterizados por Lepsch (1991) outros aspectos físicos determinantes na utilização do solo, tais como o relevo

adequado, a disponibilidade de água, a susceptibilidade à erosão e dificuldades à mecanização.

Do ponto de vista relacionado aos sistemas convencionais, as práticas mecânicas podem causar diferentes efeitos sobre as características físicas do solo (Albuquerque et al., 1995), o revolvimento da camada superficial diminui a estabilidade dos agregados do solo (Costa et al., 2003), aumenta a erosão hídrica (Bertol et al., 2004) e diminui a retenção de água (Viera & Klein, 2007).

O manejo inadequado de implementos agrícolas pode ocasionar o desenvolvimento da camada compactada subsuperficialmente, sendo considerada como uma das principais formas da degradação da estrutura do solo e da diminuição da produtividade das culturas (Campos et al., 1995). As consequências do preparo do solo em relação à estrutura estão relacionadas com a intensidade de revolvimento do solo, tráfego e tipos de implementos empregados, manejo dos resíduos vegetais e condições do solo no momento do preparo (Vieira, 1985).

Porém, em muitos casos, o revolvimento do solo é necessário devido a problemas de compactação e também na ajuda à eliminação de plantas daninhas e no rearranjo das partículas do solo. Assim, resulta em uma melhor e maior aeração e infiltração de água no perfil do solo, logo após o preparo e nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento das culturas, principalmente em solos compactados (Albuquerque et al., 2005).

O preparo do solo com grade aradora ainda é muito utilizado no Brasil. Normalmente, a grade possui uma pequena profundidade de trabalho no solo com alto rendimento operacional. No entanto, o uso inapropriado desse implemento pode provocar a formação de camadas compactadas, chamadas “pé-de-grade” (Silva, 1992).

O manejo intensivo do solo com grade aradora e grade niveladora tende a melhorar inicialmente as condições para realizar a semeadura, quebrando os torrões grandes em menores, porém contribui para modificações na estrutura e agregação dos solos. Carpenedo & Mielniczuk (1990) relatam que o solo, quando submetido a períodos intensivos de cultivos, possui uma tendência a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com consequente diminuição de macroporos e aumento de microporos e da densidade.

A intensidade de ocorrência das alterações depende do tipo de solo e dos sistemas de manejo adotado. Os efeitos mais prejudiciais estão atribuídos aos sistemas de manejo que preconizam o revolvimento intensivo de solos, resultando em um decréscimo do teor de

matéria orgânica, que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (Blainski et al., 2008, Portella et al., 2012).

O arado de aiveca é menos utilizado devido ao seu baixo rendimento operacional e maiores gastos de tempo e energia para a sua operação que os demais implementos, embora, em alguns casos, tenha ocorrido maior produtividade de milho quando esse implemento foi utilizado, quando comparado ao plantio direto ou ao preparo com grade aradora (Kluthcouski, 1998).

Nos sistemas conservacionistas como no sistema de semeadura direta, o baixo revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos sobre a superfície aumentam o teor de matéria orgânica, que promove a estabilidade dos agregados, melhora a estrutura do solo, aumenta a resistência à erosão e à atividade biológica (Guareschi et al., 2012, Lima et al., 2013). Essas práticas vêm sendo amplamente utilizadas em áreas produtoras de grãos com uso de altas tecnologias em detrimento a sistemas convencionais que utilizam arado de disco e gradagem.

Porém, há ainda a necessidade de maior conhecimento das consequências de tais medidas para melhor conservação do solo (Inoue, 2003), pois a menor mobilização do solo e o tráfego de máquinas e implementos, especialmente em condições desfavoráveis de umidade, podem resultar em camadas compactadas, principalmente em superfície, podendo muitas vezes afetar a produtividade das culturas (Secco et al., 2004).

Do ponto de vista agrônômico, o sistema de manejo deve colaborar para a manutenção ou propiciar uma melhora da qualidade do solo, assim como para o alcance de adequadas produtividades das culturas em longo prazo (Costa et al., 2003). Sendo que umas das principais metas da pesquisa em manejo do solo é identificar e aperfeiçoar sistemas adaptados às condições edafoclimáticas, de acordo com a região (Araújo et al., 2007). Com isso, o estudo do perfil do solo é o primeiro passo a se verificar, sendo que sistemas de manejos conservacionistas permitem aliar produção com conservação (Santos et al., 2012) e mesmo quando não sejam possíveis estes sistemas, deve-se utilizar aqueles sistemas de preparos que acarretam em um menor revolvimento do solo (Medeiros et al., 2002).

Sendo assim o presente trabalho tem como objetivo geral analisar as alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de preparo, numa área submetida, por 20 anos consecutivos, a diferentes sistemas de preparo.

## **Considerações Gerais**

O trabalho foi dividido em duas partes, sendo a primeira composta de uma introdução geral e a segunda composta de dois artigos.

O primeiro artigo teve por objetivo avaliar as propriedades físico-hídricas e a agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do Cerrado submetido por 20 anos consecutivos a diferentes sistemas de preparo e manejo do solo. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: granulometria, matéria orgânica, índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, classes de agregados, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diagramas radiais avaliando a qualidade do solo e curva de retenção de água do solo.

No segundo artigo foi proposto verificar a qualidade física do solo a partir de regressões lineares entre atributos indicadores de qualidade física do solo e sua validação com a produtividade de milho em diferentes sistemas de manejo do solo. As propriedades do solo avaliadas foram: densidade do solo, capacidade de aeração, macroporosidade, capacidade de água disponível, índice S, resistência à penetração e capacidade relativa de água no solo.

## Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p. 115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relações de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.

ALTIERI, M. A.; NAVARRO, Z. Reconstruindo a agricultura – ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural e sustentável. 2.ed. Porto Alegre. UFRGS, p. 72-105, 1998.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M. & OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000.

ARATANI, R. G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no Estado de São Paulo**. 2008. 139 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

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

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. R. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L., & LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 5, p. 187-196, 2012.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A., & PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 555-560, 2001.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob prepare convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A. FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e Gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1057-1071.2012.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação deculturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R., & ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 1161-1164, 2003.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 1 - Safra 2014/15, n. 6 - Sexto Levantamento, Brasília, p. 1-83, mar. 2015.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

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

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G., & KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEXTER, A. R.; YOUNGS, I. M. Soil physic toward 2000. **Soil and Tillage Research**, v. 24, p. 101-106, 1992.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In.: DORAN, J. W.; COEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STAWART, B. A.; eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**, Madison. ASA/SSSA, 1994. p. 3-21, 1994.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. et al. Economia da produção e utilização do milho. In: **Cultivo do milho**. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sistema de produção, 1. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>>. Acesso em: 14 outubro. 2015.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; DE OLIVEIRA, T. S., & DA SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo, em sistema de rotação, na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 03, p. 353-361, 2008.

GODEFROY, J.; JACQUIN, F. Relation entre la stabilite structurale des sols cultives et les apports organiques em conditions tropicales; comparasion avec les sols forestiers. **Fruits**, Paris, v. 30, p. 595-612, 1975.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Conservação e cultivo de Solos para Plantações Florestais. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Piracicaba, São Paulo, p. 498, 2002.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de Resíduos Vegetais, Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, p. 413, 1980.

INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación Del suelo**. La Coruña, Universidade da Coruña, p. 298, 2003. (Tese de Doutorado).

INOUE, G. H. Sistemas de preparo do solo e o plantio direto no Brasil. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 24, n. 1, p. 11, 2003.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia. Relações solo-planta**. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito do manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 180p. (Tese de Doutorado).

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison, **Soil Science.** Society of America, Special Publication Number v. 35, p. 37-51, 1994.

LAL, R. L. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nostrópicos.** Tradução e adaptação de MEDUNGO, CC e DYNIA, J.F. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 1999.

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

LEPSCH, I. F. (org.). Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1991. 175p.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

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

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VIELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura – pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 873-882, 2007.

MARTINS, D. J. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MEDEIROS, J. da C.; CARVALHO, M. C. S.; FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; OLIVEIRA, J. P.; LEANDRO, W. M.; BARBOSA, K. A.; DEL'ACQUA, J. M.; FERNANDES, J. I.; SANTOS J. W. **Manejo da cultura do algodão com Resultados da Pesquisa em Goiás. 2001/2002**. Campina Grande: Fundação GO/Embrapa Algodão/Fialgo, 22p., 2002. (Embrapa Algodão. Documentos, 98).

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, T. D.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.1409-1418, 2001.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M., & DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distro-férrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

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

REICHERT, J. M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

SANTOS, P. G.; BERTOL, I.; CAMPOS, M. L.; NETO, S. L. R., & MAFRA, Á. L. Classificação de terras segundo sua capacidade de uso e identificação de conflito de uso do solo em microbacia hidrográfica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, p. 146-157, 2012.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M., & ROS, C. D. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.5, p. 797-804, 2004.

SILVA, J. G. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 180p, 1992. (Tese de Doutorado).

SOUZA, C. G. Solos – Potencialidade agrícola. In: CALDEIRON, S. S. (Coord.). **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, p. 47-58, 1993.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Soil Plant Science**, v. 49, p. 1-24, 1999.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991. (Dissertação Mestrado)

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. DA; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309316, 2010.

VIEIRA, M. J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V. & MACHADO, J., coords. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, p. 163-179, 1985.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1271-1280, 2007.

## **ARTIGO I**

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS VINTE ANOS DE MANEJO COM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E CULTIVO<sup>1</sup>**

Artigo de acordo com as Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS)

---

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Sete Lagoas.

**RESUMO** - A desordenada expansão e ocupação dos solos do cerrado brasileiro aliada à necessidade de exploração sustentável dos recursos naturais destacam a importância do conhecimento e o detalhamento das características básicas dos seus solos. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas e a agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do Cerrado submetido por 20 anos consecutivos a diferentes sistemas de preparo e manejo. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas no espaço, compostos pelos 6 manejos dos solos na parcela e nas subparcelas de 4 profundidades, totalizando 24 tratamentos com três repetições. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: granulometria, matéria orgânica, índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, classes de agregados, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, e curva de retenção de água do solo. Concluiu-se que a adoção do sistema de preparo convencional por longos períodos altera a estrutura do Latossolo Vermelho distrófico, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e diminuição da estabilidade de agregados (DMG, DMP e IEA) quando comparados com a SD e a CN. O sistema arado de disco/ grade aradora apresentou um aumento da densidade do solo, redução da matéria orgânica, da capacidade de água disponível e da macroporosidade. Os métodos de preparo alteraram a curva de retenção de água do solo (CRA) quando comparado à área de cerrado nativo, com redução da umidade associada aos maiores potenciais, destacando o tratamento arado de disco/ grade aradora principalmente na camada até 20 cm, portanto foram menos efetivos em promover condições favoráveis às plantas. O sistema de semeadura direta proporcionou os melhores resultados na qualidade física do solo para os atributos MOS, DMG, DMP, IEA e classes de agregados de 8 - 2 mm.

**Palavras-chave:** atributos físicos, qualidade do solo, sistema de manejo.

**ABSTRACT** - The disorderly expansion and occupation of the Brazilian cerrado soils allied to the need for sustainable use of natural resources highlight the importance of the knowledge and detailing of the basic characteristics of the soil. Therefore, the aim of this study was to evaluate the physical and hydraulic properties and aggregation of a Dystrophic Red Latosol from the Cerrado, submitted for 20 consecutive years to the different preparation and management systems. It was used the randomized block design (DBC) with subdivided plots, made of 6 soil managements in the plot and subplots of 4 depths, totaling 24 treatments with three replications. The following attributes were evaluated: granulometry, organic matter, aggregate stability index, average geometric diameter, weighted average diameter, aggregate classes, soil density, total porosity, macroporosity, microporosity and water retention curve of the soil. It follows that the adoption of the conventional preparation for long periods of time alters the structure of Dystrophic Red Latosol, mainly observed by the increasing of density in the subsurface and decreasing of aggregate stability (DMG, DMP and IEA) when compared to the SD and CN. The plow disk / harrow system showed an increasing of the soil density, reduction of the organic matter, the available water capacity and macroporosity. The methods of preparation changed the soil water retention curve (CRA) when compared to the native cerrado area, with the reduction of the moisture associated to the greatest potentials, highlighting the plow disc / disc harrow treatment mainly in up to the 20 cm layer, so it was less effective in promoting favorable conditions for plants. The preparation system provided the best results in the soil physical quality for the MOS, DMG, DMP, IEA attributes and the 8-2 mm aggregate classes.

**Keywords:** physical attributes, soil quality, management system.

## Introdução

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola tem despertado nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade agrícola (Lal & Pirce, 1991), principalmente no contexto da crescente demanda mundial por alimentos e energia. Brighenti et al. (2012) ressaltam a desordenada expansão e ocupação dos solos do cerrado brasileiro, destacando a importância do conhecimento e o detalhamento das características básicas dos solos.

Outro fator importante relacionado à qualidade do solo é o uso de máquinas e implementos agrícolas, ocasionando o desenvolvimento de camada compactada subsuperficialmente, tanto por grade quanto em semeadura direta, sendo considerada como uma das principais formas da degradação da estrutura física do solo e da diminuição na produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Assim, de acordo com (Fialho et al., 2008; Pignataro Netto et al., 2009; Bognola, et al., 2010; Bavo et al., 2010), é necessário monitoramento dos solos sob diferentes sistemas de manejo, visando a uma melhor preservação física da sua qualidade para que o mesmo possa proporcionar produção agrícola sustentável.

O manejo intensivo do solo com grade aradora, arado de disco, arado de aiveca e grade niveladora tende a melhorar as condições para realizar a semeadura, porém contribui para promover modificações na estrutura e agregação dos solos. Carpenedo & Mielniczuk (1990) relatam que o solo, quando submetido a períodos intensivos de cultivos, possui uma tendência a perder a estrutura original. Isto ocorre pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com consequente diminuição de macro e aumento de microporos e da densidade.

Portella et al. (2012) relatam que as diversas práticas convencionais adotadas para manejar o solo alteram a estabilidade dos agregados. Deste modo, os cultivos sucessivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos agrícolas, ocasionam uma maior exposição do solo, resultando numa diminuição da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (Vasconcelos et al., 2010).

Com a introdução do sistema de semeadura direta (SD) nas áreas agrícolas têm-se demonstrado alterações da qualidade estrutural superficial do solo à medida que os cultivos se sucedem. Devido principalmente ao contínuo aporte de material orgânico, proporcionando melhores benefícios às raízes das plantas e proteção oferecida pelos resíduos vegetais à superfície do solo (Guareschi et al., 2012; Lima et al., 2013).

Marcolan & Anghinoni (2006) observaram que após quatro anos de semeadura direta, os solos das áreas tinham recuperado sua condição original para os atributos físicos referentes à

qualidade do solo, nas camadas superficiais até 0,15 m e Hickmann et al. (2012) em área sob sistema de semeadura direta após 23 anos de implantação, observaram melhoria nestes mesmos atributos, além de recuperar os teores de carbono orgânico na camada superficial do solo até 0,05 m, quando comparado ao sistema convencional de cultivo.

Nesse sentido, o nível de alteração provocado pelos diferentes sistemas de manejo pode ser avaliado pela mensuração com o estado natural do solo, sem interferência antrópica, juntamente com a existência de parâmetros do solo "indicadores" que quantificam o nível ou grau de qualidade (Topp et al., 1997; Arshad & Martin, 2002). Para isso, torna-se necessária a utilização de uma quantidade mínima de indicadores físicos do solo que ofereçam características como facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo (Doran & Parkin, 1994; Niero et al., 2010; Chaves et al., 2012).

Dessa forma, quando se trabalha em solos agrícolas, os agricultores procuram obter o máximo desempenho das culturas e a degradação do solo e do ambiente tendem a ser minimizadas. Para isso deve ser observado se os parâmetros indicadores de qualidade física do solo estão dentro de faixas "ideal", "ótimo" ou "preferido" (Araújo et al., 2007; Reynolds et al. 2008; Melo filho et al., 2009) de acordo com a classificação do solo, pois cada solo responde de uma maneira aos sistemas de manejo. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas e a agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do Cerrado, submetido por 20 anos consecutivos a diferentes sistemas de preparo e manejo do solo.

## **Material e Métodos**

### **Caracterização da Área Experimental**

O experimento foi realizado na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG, nas coordenadas geográficas com latitude 19°27'S, longitude 44°10'W e altitude de 786 m. O clima da região se enquadra no tipo (Cwa), segundo a classificação de Köppen. A precipitação e a temperatura média anual são de 1.340 mm e 22°C, respectivamente (Lange et al., 2006). A classe de solo predominante foi classificada como Latossolo Vermelho distrófico argiloso caulínico (Embrapa, 2013).

A área experimental vem sendo cultivada no verão desde 1995 sob diferentes sistemas de preparo do solo e culturas. Neste estudo foram avaliados: Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), além de uma área adjacente de Cerrado Nativo (CN), utilizada como referência. Em cada tratamento

as parcelas têm uma área útil delimitada de dimensões 20 x 16 m. A caracterização física e os resultados da análise química do solo estão presentes no quadro 1.

**Quadro 1** – Caracterização física e química de um Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes Sistemas de manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete lagoas (MG). São apresentados os resultados para as profundidades de 0- 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm, realizados em novembro de 2014.

Trat.	Argila	Silte	Areia	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>(1)</sup>	CTC <sup>(1)</sup>	P	K	V <sup>(1)</sup>	m <sup>(1)</sup>	MOS
----- g Kg <sup>-1</sup> -----			----- cmolc/dm <sup>-3</sup> -----						--- mg/dm <sup>-3</sup> ---		----- % -----			
0 - 5 cm														
GA	556	230	213	5,6	3,6	1,1	0,0	4,4	9,7	11,4	209,8	54,9	0,0	4,8
AA	586	216	196	5,2	2,3	0,6	0,0	6,2	9,6	6,9	192,6	36,1	0,5	4,0
AD	623	200	176	5,8	2,8	1,1	0,0	5,5	10,0	9,1	260,9	45,4	0,0	4,9
AD/GA	556	223	220	5,9	2,8	0,9	0,0	4,0	8,3	8,8	227,7	51,7	0,1	3,9
SD	553	230	216	6,5	6,1	1,5	0,0	3,0	11,3	17,2	267,6	73,4	0,0	6,2
CN	773	100	126	5,4	3,6	0,2	0,0	6,3	10,3	3,0	58,8	39,0	0,4	5,4
5 - 10 cm														
GA	583	216	200	5,4	2,7	0,7	0,0	6,0	9,7	13,9	89,9	38,0	0,1	4,6
AA	590	213	196	5,1	2,1	0,5	0,0	6,4	9,4	6,1	166,1	32,3	0,5	3,9
AD	640	190	170	5,5	2,4	0,8	0,0	6,6	10,2	11,9	165,7	35,4	0,1	4,8
AD/GA	570	213	216	5,6	2,4	0,7	0,0	5,4	8,8	6,5	113,2	39,4	0,2	3,8
SD	616	193	190	5,8	2,9	0,7	0,0	6,2	10,2	12,0	159,6	39,8	0,6	4,2
CN	796	80	123	5,0	1,0	0,0	0,1	8,5	9,6	2,8	15,0	11,1	7,9	4,8
10 - 20 cm														
GA	590	220	190	5,2	1,5	0,3	0,0	5,9	7,7	1,5	20,5	24,5	1,1	3,0
AA	583	216	200	5,3	2,0	0,5	0,0	6,2	9,0	5,5	163,6	32,2	0,7	3,9
AD	626	203	170	5,5	1,9	0,5	0,0	7,4	10,1	7,0	113,7	27,1	0,5	4,5
AD/GA	576	213	210	5,5	2,0	0,4	0,0	5,8	8,3	4,6	61,8	30,9	0,1	3,7
SD	613	196	190	5,5	2,4	0,4	0,0	6,5	9,5	3,1	69,6	33,5	0,9	3,7
CN	796	83	120	4,9	0,3	0,0	0,1	8,8	9,1	2,1	10,7	3,6	28,3	4,5
20 - 40 cm														
GA	583	233	183	5,2	0,8	0,1	0,0	5,0	5,9	1,5	5,6	14,8	5,2	2,2
AA	596	216	186	5,6	2,0	0,3	0,0	4,9	7,4	2,5	52,2	33,3	1,6	3,0
AD	650	190	160	5,7	1,8	0,3	0,0	6,7	8,9	3,5	26,7	24,6	1,0	3,9
AD/GA	590	213	196	5,8	1,6	0,3	0,0	5,0	6,8	1,4	17,3	28,0	1,3	3,0
SD	620	200	180	5,5	2,1	0,3	0,0	5,4	7,9	1,3	35,3	32,5	1,7	3,0
CN	793	96	110	5,0	0,1	0,0	0,1	8,4	8,5	0,9	2,1	1,4	61,0	3,7

<sup>(1)</sup>H+Al: Acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. Análise granulométrica e análise química determinado conforme (EMBRAPA, 2011). Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), e Cerrado Nativo (CN).

Os equipamentos que são utilizados para preparo do solo apresentam as seguintes especificações: Grade Aradora (GA) intermediária com 16 discos de 28", Arado de Aiveca (AA) com 3 lâminas, Arado de Disco (AD) com 3 discos de 32" de diâmetro. Em Semeadura Direta (SD), realiza-se dessecação com glifosato antes do plantio, caracterizando semeadura sob baixa quantidade de palhada.

Após o preparo do solo, é utilizada grade niveladora em todas as parcelas, à exceção das que recebem o tratamento SD. No período de entressafra, aplica-se glifosato em toda a área experimental, às vezes seguida pela passagem de triturador. O controle de formiga é realizado com sulfluramida na dosagem de 8 a 10 g m<sup>-2</sup> por formigueiro.

Em todos os plantios, utilizam-se cultivares comerciais do tipo híbridos simples de milho, produzidas pela Embrapa Milho e Sorgo. Os plantios foram efetuados com plantadora adubadora na população de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com adubação de plantio com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 + 0,5 - N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O + Zn, respectivamente. Adubação de cobertura é realizada com 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (geralmente na forma de ureia ou sulfato de amônio) quando a cultura se apresenta com 4 a 6 folhas.

O controle de plantas daninhas nas culturas é realizado na pré ou pós-emergência precoce das plantas daninhas com produtos utilizados regionalmente. O tratamento de sementes e a aplicação de inseticidas quando do ataque de pragas é realizado com produtos recomendados pelos boletins de recomendação vigentes.

A partir do ano de 2007, foram realizadas práticas agrícolas (recomendação de calagem por tratamento, gessagem, ajustes na adubação de plantio e de nitrogênio em cobertura, disponibilidade de palhada, adequação no uso de herbicidas e manejo de pragas) em toda a área experimental visando otimizar o manejo do solo e a proteção da cultura para incrementos na produtividade.

A partir de 2008, as parcelas de SD têm recebido aporte de 50 Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde de milheto cultivado previamente na primavera. Em outubro de 2013 realizou-se calagem 2,4 Mg ha<sup>-1</sup> e gessagem 0,8 Mg ha<sup>-1</sup> nas parcelas. A irrigação é realizada na produção do milheto, quando necessária. Nestes tratamentos, a dessecação do milheto ocorre com 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato 10 dias antes da semeadura.

## Amostragens e Avaliações

Coletaram-se amostras de solo deformadas e não deformadas em três trincheiras por tratamento, sendo cada trincheira uma repetição. As trincheiras foram abertas na área central de cada parcela, deixando 7 metros de bordadura de cada lado, entre os meses de outubro e novembro 2014, antes da operação de preparo do solo e após precipitação de 40 milímetros de chuva. A amostragem foi realizada em 4 profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm).

A estabilidade de agregados foi determinada pela metodologia do tamisamento úmido, proposta por Kemper & Rosenau (1986), descrita pela (Embrapa, 2011), em que as amostras de agregados foram espalhadas e destorroadas suavemente nos pontos de fraqueza, para obtenção de 25 g de agregados da fração entre 8 e 4 mm por peneiramento.

As amostras foram, então, acondicionadas em um conjunto de peneiras de malhas correspondentes a 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,09 mm, para separação das classes de tamanhos dos agregados, tendo sido agitadas a 10 rpm por um período de quinze minutos. Foram calculados com índices de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA), segundo Castro Filho et al. (1998).

Amostras coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e diâmetro foram preparadas sendo gradativamente saturadas por capilaridade com água destilada. As amostras foram pesadas para estimar a umidade na saturação ( $\theta_s$ ) e em seguida submetidas aos potenciais ( $\Psi$ ): -2, -4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa, utilizando placas porosas, conforme Klute (1986). Utilizou-se uma mesa de tensão automatizada da marca ECOTECH para potenciais até -10 KPa e Câmara de Richards de média e alta pressão para os demais.

Após atingir o equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e ao final secas em estufa a 105 °C para quantificar a densidade do solo ( $D_s$ ) e os conteúdos de água ( $\theta$ ), em  $\text{cm}^3$ , associados a cada  $\Psi$  para a obtenção da curva de retenção de água no solo (CRA). A Microporosidade (Micro) foi atribuída ao  $\theta$  em equilíbrio no potencial de -6 kPa. A Macroporosidade (Macro) foi determinada pela diferença entre Pt e Micro (Embrapa, 2011).

Para cada uma das 72 amostras foi obtida a CRA por modelagem não linear ajustando-se o modelo de Van Genuchten (1980), por meio do software RETC (Van Genuchten, 1991).

Calculou-se o índice S conforme metodologia de Dexter (2014). A capacidade de água disponível (CAD) pela diferença entre capacidade de campo estimada pelo  $\theta$  a 6 KPa ( $\theta_{CC}$ ), e, o ponto de murcha permanente, estimado pelo  $\theta$  a 1500 KPa ( $\theta_{PMP}$ ).

## **Análise Estatística**

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas no espaço, compostas pelos 6 manejos do solo na parcela e nas subparcelas de 4 profundidades, totalizando vinte e quatro tratamentos com três repetições. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para os atributos físico-hídricos do solo, e quando pertinente, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software R, pacote ExpDes (Ferreira et al., 2013).

Para avaliar a qualidade física do solo de forma integrada nos sistemas de manejo do solo, adotou-se o método da análise visual de gráficos radiais conforme (Costa et al., 2006; Araújo et al., 2007 e Tavares Filho et al., 2014). Nessa metodologia os valores dos atributos do solo encontrados para a área de cerrado nativo (CN) foram considerados como indicadores de boa qualidade física do solo, portanto valores de referência.

## **Resultados e Discussão**

Os maiores valores para DMG, DMP e IEA foram observados em todas as camadas para CN e para SD apenas na profundidade de 0-5 cm, sendo superior aos demais sistemas de preparo, (Quadro 2). O não revolvimento do solo favorece a conservação da MOS (Campos et al., 1995; Corazza et al., 1999; Castro filho et al., 2002; Zinn et al., 2005; Frazão et al., 2010) nestas camadas e, associado aos maiores teores de  $Ca^{2+}$  proveniente da calagem, são favoráveis à manutenção dos agregados no solo (Quadro 1). De fato, é notório o conhecimento de que a MOS é um dos principais agentes do processo de agregação do solo (Wendling et al., 2012; Silva et al., 2013).

Os maiores valores destes parâmetros na camada de 10-20 cm foram observados nos tratamentos CN e GA. Em profundidade, o efeito do distúrbio do implemento GA não é observado na camada abaixo de 10 cm. Outros implementos cortam o solo abaixo de 10 cm, o arado de disco de 25 a 30 cm. Nesta faixa de 10-20 cm de profundidade, observa-se que as classes de agregados 8-2 mm para GA e CN não diferiram sendo os de maiores valores. Os parâmetros neste tratamento foram próximos do CN com valores superiores aos outros tratamentos mostrando que outros implementos estão revolvendo solo nesta profundidade.

A GA revolve camada de solo acima de 10 cm, geralmente, até 10 cm. Observação similar ocorre para o tratamento AA que tem IEA aumentando com a profundidade. A classe 8-2 mm foi a que teve a menor porcentagem superficialmente e a classe < 0,09 mm foi a que obteve maior

porcentagem superficialmente, disto mostra que AA apresenta eficiência na destruição da agregação superficialmente.

**Quadro 2** - Resultados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e classes de agregados avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).

TRAT	DMG <sup>(1)</sup>	DMP <sup>(2)</sup>	IEA <sup>(3)</sup>	Classes de agregado (mm)					
				8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,09	< 0,09
	----- mm -----			----- % -----					
				0 - 5 cm					
GA	0,53 c	1,27 c	60,30 c	15,31 c	17,09 a	21,00 a	15,62 a	14,19 a	16,76 b
AA	0,35 c	1,86 c	46,28 d	8,42 c	12,34 b	21,09 a	15,19 a	17,56 a	25,37 a
AD	0,52 c	1,18 c	63,03 c	13,13 c	17,39 a	20,81 a	18,66 a	15,28 a	14,71 b
AD/GA	0,46 c	1,06 c	56,15 c	11,42 c	15,11 a	22,01 a	17,80 a	16,78 a	16,85 b
SD	1,34 b	2,68 b	76,93 b	46,20 b	15,73 a	11,58 b	8,62 b	7,68 b	10,18 c
CN	2,33 a	3,68 a	88,11 a	69,38 a	9,11 b	5,93 c	5,24 b	5,37 b	4,95 c
				5 - 10 cm					
GA	0,59 b	1,28 b	67,26 b	14,34 b	20,49 a	21,26 a	18,05 b	12,44 b	13,39 a
AA	0,37 b	0,79 b	55,31 b	6,63 b	10,58 b	21,74 a	25,60 a	17,35 a	18,08 a
AD	0,55 b	1,23 b	66,35 b	14,79 b	15,24 a	20,95 a	21,42 a	13,33 b	14,25 a
AD/GA	0,63 b	1,41 b	66,75 b	17,71 b	18,33 a	21,37 a	17,00 b	12,59 b	12,97 a
SD	0,81 b	1,71 b	74,18 b	23,79 b	18,74 a	21,80 a	15,24 b	11,18 b	9,23 b
CN	2,78 a	3,93 a	90,42 a	75,92 a	6,45 b	4,57 b	4,69 c	3,87 c	4,47 b
				10 - 20 cm					
GA	1,23 b	2,46 b	78,53 b	40,03 b	20,40 a	13,79 b	8,73 b	8,34 c	8,69 b
AA	0,48 c	1,05 c	58,34 c	10,68 c	15,64 b	22,94 a	17,90 a	18,92 a	13,91 a
AD	0,50 c	1,21 c	61,85 c	14,75 c	14,69 b	20,65 a	18,71 a	14,83 b	16,35 a
AD/GA	0,60 c	1,33 c	64,69 c	15,64 c	19,11 a	22,92 a	14,96 a	13,68 b	13,68 a
SD	0,70 c	1,48 c	67,88 c	19,01 c	18,67 a	20,75 a	16,21 a	13,87 b	11,47 a
CN	3,08 a	4,10 a	93,05 a	78,90 a	6,68 c	4,60 c	3,83 c	3,46 d	2,62 c
				20 - 40 cm					
GA	1,00 b	2,21 b	69,48 b	36,44 b	14,61 a	12,62 b	12,06 b	11,82 a	12,42 a
AA	0,72 b	1,50 c	72,24 b	19,02 b	20,37 a	21,20 a	17,23 a	12,17 a	10,00 a
AD	1,04 b	2,00 b	79,74 a	29,81 b	19,21 a	19,34 a	14,83 b	10,45 a	6,34 a
AD/GA	0,99 b	1,99 b	74,67 b	30,12 b	18,41 a	18,66 a	12,78 b	10,44 a	9,57 a
SD	0,60 b	1,37 c	63,20 b	18,15 b	15,03 a	17,46 a	20,16 a	15,06 a	14,12 a
CN	1,69 a	3,14 a	83,91 a	57,52 a	10,05 a	8,67 b	9,48 b	6,84 a	7,42 a

<sup>(1)</sup>Diâmetro médio geométrico, <sup>(2)</sup>Diâmetro médio ponderado, <sup>(3)</sup>Índice de estabilidade de agregados. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

Os menores valores destes parâmetros para SD nas profundidades 10-20 cm e 20-40 cm deveram-se à redução da porcentagem das classes de agregados maiores e aumento da porcentagem das classes de agregados menores. Aliado a isto, esta observação deve-se ao aumento do teor de MOS superficialmente e à compressão do solo em subsuperfície pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas.

Observar-se que a CN apresentou mais agregados na classe de 8-2 mm, nas quatro camadas avaliadas, seguida da SD para a camada de 0-5 cm e GA 10 - 20 cm e os demais tratamentos não diferiram entre si. O sistema SD, embora diferente do sistema CN, mostra tendência de restabelecer o equilíbrio natural na camada superficial do solo, pois apresenta um maior teor de  $Ca^{2+}$  em todas as camadas, seguido pela MOS na camada de 0-5 cm (Quadro 1). O uso de resíduos vegetais é constatado por diversos autores como responsável por melhorias nas propriedades físicas do solo (Verma & Sharma, 2008; Olibone et al., 2010; Blainski et al., 2012., Silva et al., 2013).

Em uma extensa revisão de literatura sobre agregação, Six et al. (2004) mostraram que o cálcio é um elemento de suma importância para o processo de estabilização da matéria orgânica e agregados do solo, atuando diretamente na complexação organo-mineral, com ação na microagregação e macroagregação, por estimular atividades biológicas em solos ácidos.

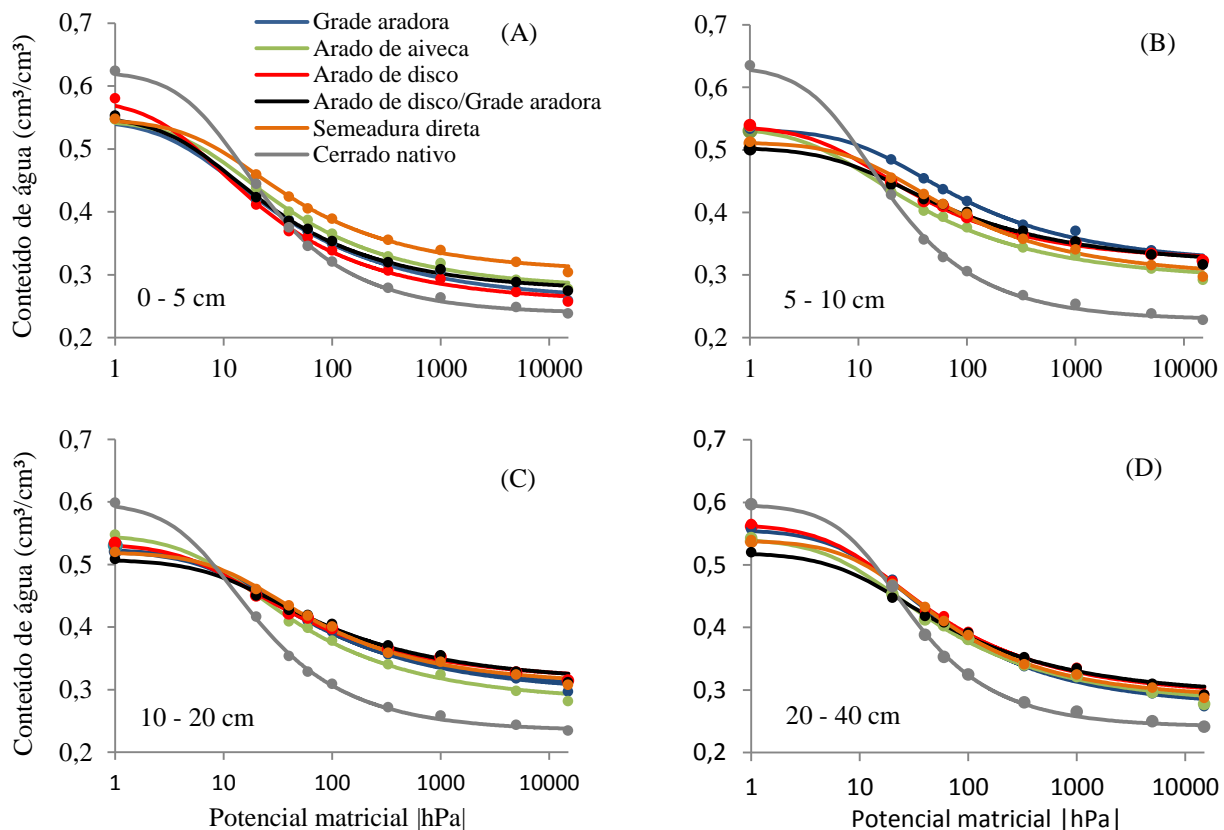
No entanto, no presente trabalho, a GA na camada de 10-20 cm e o AD na camada de 20-40 cm mostra melhor resultado de estabilidade de agregados no sistema convencional em relação ao conservacionista. Eram de se esperar menores valores de agregação por ocasião do preparo do solo com GA e AD nessas camadas, principalmente em função da aceleração da decomposição causada pela incorporação dos restos culturais (Albuquerque et al., 2005); no entanto, o preparo do solo que antecedeu à coleta das amostras foi efetuada apenas com uma gradagem leve e superficial, com posterior semeadura. Possivelmente, a pequena mobilização do solo contribuiu para reduzir a destruição dos agregados.

Dessa forma, fica claro que os sistemas de preparo de solo avaliados alteram a distribuição dos agregados na área. Mota et al. (2013), avaliando a qualidade física de um Cambissolo, observaram que, sob área de cerrado nativo, houve maior estabilidade de agregados quando comparado a diferentes sistemas de manejo.

Coutinho et al. (2010) e Rozane et al. (2010) também encontraram maior estabilidade de agregados em vegetação natural. Salton et al. (2008), avaliando estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários, comprovaram que a pastagem permanente ou a rotação com cultura em semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com culturas.

## Curva de retenção de água do solo (CRA)

Ao analisar a retenção de água (Figura 1) verifica-se redução do conteúdo de água retido nos maiores potenciais em todos os manejos quando comparados ao CN, principalmente na camada até 20 cm, com maior redução para AD/GA, explicada pelos efeitos da compactação no solo causado pela operação de preparo e manejo do solo conforme (Quadro 3). Essa região da CRA representa os poros de maior diâmetro, portanto podem ser afetados pela infiltração de água, capacidade de aeração e, conseqüentemente, pelo desenvolvimento radicular (Lanzanova et al., 2010; 2012).



**Figura 1** - Curvas de retenção de água (CRA) de um Latossolo Vermelho distrófico para diferentes sistemas de preparo do solo (Grade Aradora, Arado de Aiveca, Arado de Disco, Arado de Disco/Grade Aradora, Semeadura Direta e Cerrado Nativo) na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG), nas profundidades de (A) 0-5, (B) 5-10, (C) 10-20 e (D) 20-40 cm.

O conteúdo de água em potenciais menores que estão associados à microporosidade aumentou com o manejo do solo (Figura 1). Os manejos SD e GA causaram aumento desses poros nas camadas superficiais, o que também foi observado por Secco et al. (2005) em Latossolo Vermelho analisando sistemas de preparo do solo. Para SD vários fatores explicam esta observação, dentre elas o não revolvimento do solo. Para GA, o fato observado deve-se ao aumento de

agregados de classes menores na camada superficial. Na camada subsuperficial os sistemas de preparo do solo apresentaram CRA semelhantes. Assim, pode-se inferir que não houve alteração na capacidade de retenção de água.

Em todos os sistemas de preparo do solo, as curvas apresentaram aspecto retilíneo após -1000 hPa em relação ao CN, indicando a presença de ultramicroporos, caracterizados por possuírem baixa capacidade de disponibilidade de água, como constatado por Oliveira et al. (2004). A presença de ultramicroporos no solo pode acarretar problemas como maior déficit hídrico em cultivos de sequeiro, pois desfavorece a disponibilidade de água num potencial inferior a -15000 hPa, ou seja, a água retida nesses poros não está prontamente disponível para as plantas. Isso mostra que quando houve um aumento de poros pequenos, conseqüentemente houve quebra dos poros maiores, isso foi observado pela distribuição do tamanho dos agregados (Quadro 2).

A densidade do solo ( $D_s$ ) apresentou uma amplitude média por tratamento de 0,83 a 1,31 g cm<sup>-3</sup> (Quadro 3), próxima à encontrada por Severiano et al. (2011) para LVd argiloso mineralogia caulínica-oxídica que variou entre 0,90 a 1,55 g cm<sup>3</sup>. Os autores estimaram a densidade crítica ao crescimento de plantas como 1,42 g cm<sup>3</sup> nesse solo, sendo possível constatar uma tendência de aumento da densidade quando o solo foi submetido ao uso em relação ao seu estado natural.

Em todo o perfil de solo onde foram avaliados os manejos do solo podem ser observados  $D_s$  superior em relação à área de referência (CN) (Quadro 3). Resultados similares também foram obtidos por Araújo et al. (2004) e Costa et al. (2006) até a camada de 20 e 30 centímetros de profundidade, respectivamente, onde observaram  $D_s$  significativamente maior na área cultivada, comparado à área sob mata nativa.

O tratamento AD foi uma exceção, no qual a média de  $D_s$  encontrada foi de 0,98 g cm<sup>-3</sup>, valor similar ao obtido para CN, para a camada superficial. O mesmo comportamento foi notado por Oliveira et al. (2004) em LVd argiloso caulínico submetido a vinte anos de cultivo, tendo como justificativa a quebra da compactação superficial pelo revolvimento do solo, deixando-o mais solto temporariamente.

A  $D_s$  não diferiu entre os demais sistemas de manejo, como também foi observada em outros experimentos (Araújo et al., 2004; Costa et al., 2006). O aumento da  $D_s$  nas áreas de manejo está associado ao revolvimento que reduz o tamanho dos agregados (Quadro 2) e, conseqüentemente, a estabilidade da estrutura, aumentando a suscetibilidade ao encrostamento superficial (Araújo et al., 2007; Marchão et al., 2007; Carneiro et al., 2009 e Mazurana et al., 2011) e ao tráfego de máquinas e implementos para preparo do solo e demais operações. Destaca-se que

mesmo em SD não há revolvimento do solo, a Ds não sofreu incrementos significativos na camada superficial.

**Quadro 3** - Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade, Capacidade de água disponível e índices S avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).

Tratamentos	Ds <sup>1</sup> g cm <sup>-3</sup>	Pt <sup>2</sup>	Macro <sup>3</sup>		Micro <sup>4</sup>	CAD <sup>5</sup>	S <sup>6</sup>
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>				
0 - 5 cm							
GA	1,07 a	0,55 b	0,18 b		0,36 b	0,10 a	0,06 b
AA	1,13 a	0,55 b	0,16 b		0,38 a	0,10 a	0,06 b
AD	0,98 b	0,58 b	0,22 b		0,36 b	0,09 a	0,07 b
AD/GA	1,11 a	0,55 b	0,18 b		0,37 b	0,09 a	0,06 b
SD	1,14 a	0,55 b	0,15 b		0,40 a	0,09 a	0,05 b
CN	0,88 b	0,62 a	0,28 a		0,34 b	0,11 a	0,11 a
5 - 10 cm							
GA	1,25 a	0,53 b	0,10 c		0,43 a	0,11 a	0,04 b
AA	1,18 a	0,54 b	0,15 b		0,39 a	0,09 b	0,05 b
AD	1,16 a	0,54 b	0,13 b		0,41 a	0,08 b	0,05 b
AD/GA	1,31 a	0,50 b	0,09 c		0,41 a	0,08 b	0,04 b
SD	1,21 a	0,51 b	0,10 c		0,41 a	0,10 a	0,04 b
CN	0,83 b	0,63 a	0,31 a		0,32 b	0,10 a	0,11 a
10 - 20 cm							
GA	1,17 a	0,52 b	0,12 b		0,40 b	0,10 a	0,05 b
AA	1,18 a	0,55 b	0,15 b		0,39 b	0,10 a	0,06 b
AD	1,18 a	0,53 b	0,12 b		0,41 a	0,08 a	0,04 b
AD/GA	1,30 a	0,51 b	0,09 b		0,41 a	0,09 a	0,04 b
SD	1,20 a	0,52 b	0,11 b		0,41 a	0,10 a	0,05 b
CN	0,86 b	0,60 a	0,27 a		0,32 c	0,09 a	0,10 a
20 - 40 cm							
GA	1,14 a	0,56 a	0,16 b		0,40 a	0,12 a	0,06 b
AA	1,18 a	0,54 a	0,14 b		0,40 a	0,11 a	0,05 b
AD	1,15 a	0,57 a	0,15 b		0,41 a	0,11 a	0,06 b
AD/GA	1,19 a	0,52 a	0,11 b		0,41 a	0,10 a	0,05 b
SD	1,12 a	0,54 a	0,13 b		0,40 a	0,11 a	0,06 b
CN	0,89 b	0,60 a	0,25 a		0,35 b	0,11 a	0,11 a

<sup>(1)</sup>Densidade do solo; <sup>(2)</sup>Porosidade total; <sup>(3)</sup>Macroporosidade; <sup>(4)</sup>Microporosidade; <sup>(5)</sup>Capacidade de água disponível (CAD); <sup>(6)</sup>Índice S, Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

A porosidade total (Pt) variou de 0,50 a 0,63 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Quadro 3), apresentando diferenças significativas entre os manejos e o CN somente até a camada de 20 cm, sugerindo menor efeito do manejo. Isto também ocorreu em trabalhos de (Demarqui et al., 2011; Trindade et al., 2012;

Calonego et al., 2012) diferindo de Wendling et al. (2012), em que houve menor Pt em áreas agrícolas sob semeadura direta na camada de 0-10 cm, em comparação à floresta nativa.

O volume de Macro foi superior para CN no perfil do solo em todas as camadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2006) e Silva et al. (2005). De acordo com Taylor & Ashcroft (1972), a porosidade destinada à aeração, normalmente a Macro, deve ser superior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para permitir as trocas gasosas, uma boa taxa de infiltração de água no solo e o crescimento de raízes da maioria das culturas de forma adequada. No presente trabalho foram encontrados valores inferiores somente nos tratamentos AD/GA nas profundidades de 5 - 10 e 10 - 20 cm.

O volume de Micro teve pequena variação entre os manejos do solo, (Quadro 3), em que no geral houve aumento da Micro nos manejos em relação ao CN como observado por (Lima et al., 2007; Demarqui et al., 2011; Wendling et al., 2012). A compactação decorrente do uso de maquinários, evidenciada pelo aumento gradativo da Ds, possivelmente, proporcionou a fragmentação dos macroporos em poros menores, justificando, assim, a maior Micro nessas áreas.

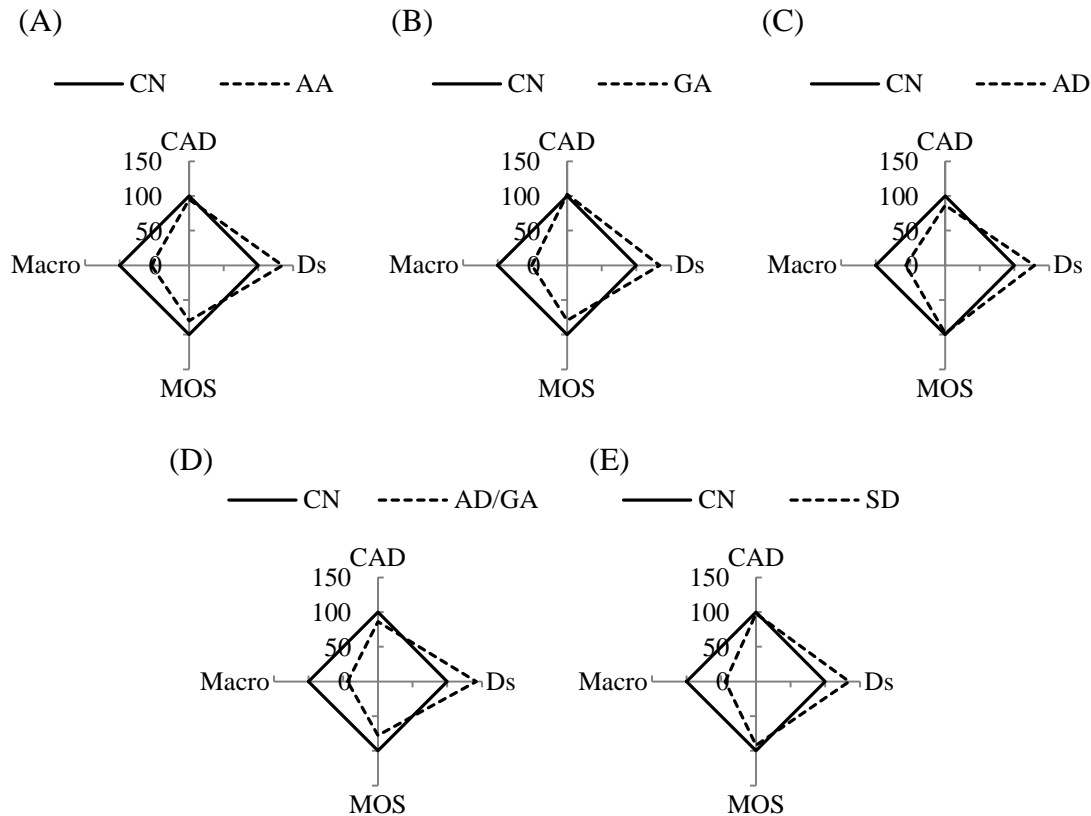
O presente trabalho mostra que houve aumento da Micro somente na camada de 0-5 cm centímetros para o sistema de SD e AA em relação aos demais sistemas de manejo, divergindo do trabalho de Cássaro et al. (2011) também estudando um Latossolo Vermelho submetido ao sistema de plantio direto e plantio convencional por longo prazo, e comprovaram que o não revolvimento do solo promoveu aumento da Micro do solo também em camadas subsuperficiais. O aumento de microporosidade relatado não implicou em incremento na CAD na maioria das camadas avaliadas (Quadro 3).

Somente houve diferença significativa na profundidade de 5 – 10 cm, com redução da CAD para AA, AD e AD/GA em relação à GA, SD e CN. Os valores encontrados estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), que se situa entre  $0,15$  e  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

O índice S foi similar à Ds na separação dos manejos, com exceção apenas na camada superficial, em que apenas o CN mostrou maior qualidade estrutural (Quadro 3). Considerando o limite de  $S < 0,025$  para solos degradados fisicamente e  $S \geq 0,045$  para solo com boa qualidade física, como determinado por Andrade & Stone (2009) para solos de Cerrado, o índice S se manteve entre esses dois limites (Quadro 3), mostrando uma adequada distribuição do tamanho dos poros e, portanto, uma boa qualidade física do solo.

## Diagrama de qualidade do solo

Ao analisar os diferentes sistemas de manejo do solo em relação ao CN para o perfil do solo (Figura 2), verifica-se que todos os sistemas de manejo promoveram aumento da Ds em relação ao CN o que implicou redução da Macro. Essa redução ficou ligeiramente maior na área sob AD/GA e SD.



**Figura 2** - Diagramas radiais comparando a qualidade do solo entre diferentes sistemas de manejos comparados com CN (cerrado nativo); (A) AA: arado de aiveca x CN; (B) GA: grade aradora x CN; (C) AD: arado de disco x CN; (D) AD/GA: arado de disco e grade aradora x CN; e (E) SD: semeadura direta x CN, considerando os valores obtidos para a camada de 0 - 40 cm quanto ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), densidade (Ds), Capacidade de água disponível (CAD) e da macroporosidade (Macro). Estudos desenvolvidos em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).

Os resultados reforçam o fato de que quanto mais intensivo for o sistema de preparo do solo, no caso o sistema AA, GA e AD/GA e de tráfego máquinas e implementos agrícolas na superfície do solo pode ocasionar aumento da degradação da MOS na superfície do solo, maior a degradação do solo. Estes resultados corroboram com os estudos de Silva et al. (2000) e Calegari et al. (2013).

Verifica-se que não houve redução na CAD para AA, porém houve redução da CAD para AD/GA e AD.

Com o uso destes diagramas, a visualização dos impactos do manejo do solo em sua qualidade é facilitada e, ajuda na tomada de decisão sobre as estratégias a serem adotadas na exploração de determinada área agrícola.

### **Conclusões**

A adoção do sistema de preparo convencional por longos períodos altera a estrutura do Latossolo Vermelho distrófico, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e diminuição da estabilidade de agregados (DMG, DMP e IEA) quando comparados com a SD e a CN.

O sistema arado de disco/ grade aradora apresentou um aumento da densidade do solo, redução da matéria orgânica, da capacidade de água disponível e da macroporosidade.

Os métodos de preparo alteraram a curva de retenção de água do solo (CRA) quando comparados à área de cerrado nativo, com redução da umidade associada aos maiores potenciais, destacando o tratamento arado de disco/ grade aradora principalmente na camada até 20 cm, portanto foram menos efetivos em promover condições favoráveis às plantas.

O sistema de semeadura direta proporcionou os melhores resultados na qualidade física do solo para os atributos MOS, DMG, DMP, IEA e classes de agregados de 8 - 2 mm.

### **Agradecimentos**

À Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), à CNPq, à Fapemig e à Embrapa Milho e Sorgo.

## Referências

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relações de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.
- ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 382 - 388, 2009.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A. & SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar/ abr. 2004.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.
- ARSHAD, Muhammad A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.
- BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A., & PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C., & PEREIRA FILHO, I. A. 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. 3, p. 167–177, 2001.

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

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. de F.; DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. de C. Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantios de *E. dunnii*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 3 p. 1998.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; GUIMARAES, R. M. L. & NANNI, M. R. Qualidade Física de um Latossolo sob plantio direto influenciada Pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 79–87, 2012.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e Gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1057-1071, 2012.

CALEGARI, A.; TOURDONNET, S.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; HARGROVE, W.; GUIMARÃES, M.F. & TAVARES FILHO, J. Influence of soil management and crop rotation on physical properties in a long-term experiment in Paraná, Brazil. **Commun. Soil Science. Plant Anal.**, v. 44, p. 2019-2031, 2013.

CALONEGO, J. C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-135, 2012.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDUCCI, C. E.; OLIVERIA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, n.1, p.77-86, 2011.

CARNEIRO, M. A.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.527-538, 1998.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G., & KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CORAZZA, E.; SILVA, J.; RESCK, D.; GOMES, A. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V., & WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

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

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, D. J. R., & TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 100-105, 2010.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DEMARQUI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 07–29, 2011.

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

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STAWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, ASA/SSSA, p. 3-21, 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 230p. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. **Revista package**, v. 1, p. 1-2, 2013.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; DE OLIVEIRA, T. S., & DA SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo, em sistema de rotação, na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 353-361, 2008.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. D. S.; CAMPOS, D. V. B. D.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1198-1204, 2010.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de Resíduos Vegetais, Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

HICKMANN, C.; Costa, L. M.; SCHAEFER, C.E.G.; FERNANDES, R.B.A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-136, 2012.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates: In: BLAKE, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: **American Society of Agronomy**, p.499- 510, 1965.

LAL, R. & PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F. J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, **Soil Water Conservation Society**, p.1-5, 1991.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. F. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.5, p. 1333-1342, 2010.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. & REINERT, D. J. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 388-393, 2012.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A. R.; HUANG, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 2, p. 82-88, jun. 2011.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. Doses de nitrogênio e de palha em sistema de plantio direto de milho no Cerrado. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 171-178, mar./abr. 2006.

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

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 163-170, 2006.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R., & DA CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 331-338, 2009.
- MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, v. 69, p. 135-148, 1950.
- MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.
- MELO FILHO, J. F. D.; CARVALHO, L. L. D.; SILVEIRA, D. D. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S. D., & SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 04, p. 1168-1177, 2009.
- MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G., & JÚNIOR, A. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196-1206, 2013.
- NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M., & DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distro-férrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.
- OLIVEIRA, G. C.; DIAS, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.
- PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.531-539, 2007.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M. & TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466-474, 2008.

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

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 211-216, 1988.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S., & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M., & ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALTON, J. C. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SECCO, D.; ROS, C. O. DA; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SEVERIANO, E. D. C.; OLIVEIRA, G. C. D.; JÚNIOR, D.; DE SOUZA, M.; COSTA, K. A. D. P.; SILVA, F. G., & FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in Latosols of the Cerrado region: I – Relationships between soil physical properties and least limiting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 773-782, 2011.

SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338-345, mai./jun. 2012.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p. 7-31, 2004.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E. G., Carter, M. R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. **Developments in Soil Science**, v. 25, p. 21-58, 1997.

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO-JÚNIOR, M. M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste paraense. **Revista Agroecossistemas**, v. 4p. 50-67, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J. & YATES, S.R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside, U. S. Salinity Laboratory, 1991.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. DA; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309316, 2010.

VERMA, S.; SHARMA, P. K. Long-term effects of organics, fertilizers and cropping systems on soil physical productivity evaluated using a single value index (NLWR). **Soil and Tillage Research**, v. 98, p. 1-10, 2008.

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

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

## **ARTIGO II**

### **REGRESSÕES LINEARES NA ESTIMATIVA DA QUALIDADE FÍSICA PARA LATOSSOLO ÓTIMA PARA MILHO<sup>1</sup>**

Artigo de acordo com as Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS)

---

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Sete Lagoas.

**RESUMO** - Os sistemas de manejo do solo podem ocasionar alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, expressando uma perda de qualidade no solo. Por outro lado, uma boa qualidade física do solo favorece condições apropriadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi verificar a qualidade física do solo a partir de regressões lineares entre atributos indicadores e sua validação com a produtividade de milho em diferentes sistemas de manejo do solo. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), contendo seis tratamentos, quatro profundidades e três repetições. Avaliaram-se os diferentes sistemas de manejo após 20 anos sob: Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD) e Cerrado Nativo (CN), utilizado como referência. As propriedades do solo avaliadas foram: densidade do solo (Ds), capacidade de aeração, macroporosidade, capacidade de água disponível, índice S, resistência à penetração e capacidade relativa de água no solo (RWC). A faixa ótima para os indicadores foi obtida a partir de regressões lineares entre a RWC e a Ds, e em seguida por regressões entre os indicadores e a Ds como variável independente. Conclui-se que a densidade do solo não apresentou correlação com a matéria orgânica, capacidade de água disponível do solo e resistência à penetração. As regressões lineares possibilitaram definir faixas adequadas referentes à qualidade física do solo para a densidade do solo, capacidade de aeração, macroporosidade, microporosidade, capacidade de campo, índice S e capacidade relativa de água. A matéria orgânica do solo correlacionou de forma linear no perfil de 0 - 40 e nas camadas de 10 - 20 e 20 - 40 cm com a produtividade do milho na safra (2014/2015). A microporosidade correlacionou na camada de 20 - 40 cm com a produtividade do milho na safra (2014/2015), demonstrando serem os melhores atributos, dentre os pesquisados, para estimar produtividade da cultura do milho.

**Palavras-chave:** Densidade do solo, capacidade relativa de água, produtividade de milho.

**ABSTRACT** - Soil management systems can cause changes in its physical, chemical and biological properties, expressing a loss of quality in the soil. Moreover, a good physical quality of the soil favors appropriate conditions to the growth and development of plants and to maintain the diversity of organisms that inhabit the soil. In this context, the aim of this study was to verify the physical quality of the soil from linear regressions between indicator attributes and their validation with corn yield in different soil management systems. The experiment was conducted in a randomized block design (DBC), containing six treatments, four depths and three replications. It was evaluated the different management systems after 20 years under: harrow (GA), Plow Moldboard (AA), disc plow (AD), Disc Plow / Disc harrow (AD / GA) Direct Sowing (SD) and Native Cerrado (CN) used as reference. The evaluated soil properties were: soil density (Ds), aeration capacity, macroporosity, available water capacity, S index, resistance to penetration and water relative capacity in the soil (RWC). The optimum range for the indicators was obtained from linear regression between the RWC and SD, and then by regressions between the indicators and SD as an independent variable. It follows that the density of the soil was not correlated with the organic matter, available water capacity and soil penetration resistance. The linear regressions enabled appropriate set tracks regarding to the physical quality of the soil for soil density, aeration capacity, macroporosity, microporosity, field capacity, S Index and relative water capacity. Soil organic matter was linearly correlated in the 0 - 40 profile and in the 10 - 20 and 20 - 40 cm layers with a (2014/2015) harvest. The microporosity correlated in the 20 - 40 cm layer with a (2014/2015) corn yield harvest proving to be the best attributes, among those surveyed, to estimate productivity of corn.

**Keywords:** soil density; relative water capacity; productivity of corn

## Introdução

A desordenada expansão e ocupação dos solos brasileiros aliada à necessidade de exploração sustentável dos recursos naturais destacam a importância do conhecimento e o detalhamento das características básicas dos seus solos. Dessa forma, cresce a preocupação devido ao aumento da intensidade das atividades antrópicas (Araújo et al., 2007; Brighenti et al., 2012).

Os sistemas de manejo do solo podem ocasionar alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, expressando uma perda de qualidade, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (Reichert et al., 2003; Carneiro et al., 2009; Niero et al., 2010). Por outro lado, uma boa qualidade física do solo favorece condições apropriadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo e executam serviços ambientais (Doran & Parkin, 1994; Albuquerque et al., 2005).

Sendo assim, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Araújo et al., 2007; Bavo et al., 2010). Nesse sentido, o nível de alteração na qualidade do solo pode ser avaliado pela mensuração do estado atual de determinados atributos em comparação com o estado natural do solo ou com faixas de valores considerados ideais em trabalhos encontrados na literatura.

Para isso, faz-se necessário selecionar um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como sensibilidade às mudanças provocadas pelo manejo, facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente a médio e longo prazo (Doran & Parkin, 1994; Chaer & Tótola, 2007; Niero et al., 2010; Chaves et al., 2012).

Ultimamente, diferentes trabalhos têm sido realizados com o objetivo de identificar os atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas agrícolas, implantados em substituição aos ecossistemas sem intervenção antrópica (Cardoso et al., 2009; Cardoso et al., 2011; Neves et al., 2007; Silveira et al., 2006), e avaliar o efeito integrado dos mesmos, expressos juntamente com a existência de parâmetros do solo "indicadores" dentro de faixas ideais ou ótimas, que quantificam o nível ou grau de qualidade (Topp et al., 1997; Arshad & Martin, 2002; Araújo et al., 2007; Melo filho et al., 2007; Cardoso, 2008; Reynolds et al., 2008; Melo filho et al., 2009).

Tótola & Chaer (2002) relatam que dois diferentes enfoques têm sido sugeridos para estabelecer critérios de referência da qualidade do solo: sendo o primeiro relacionado à área sob vegetação nativa, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente e o segundo, aquele associado a parâmetros agronômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente.

O atributo densidade do solo é largamente utilizado como indicador pela fácil determinação e relação física com os outros atributos associados ao crescimento e desenvolvimento de plantas, como porosidade, aeração, condutividade hidráulica e térmica, resistência à penetração de raízes e disponibilidade de água e nutrientes (Stone & Silveira, 2001; Lima et al., 2007; Gubiani, Reichert, & Reinert, 2013; Silva et al., 2015) e, no entanto, ser determinada de forma independente (Reynolds et al., 2008).

Outros indicadores têm sido utilizados para expressar as condições estruturais do solo baseado na curva de retenção de água no solo, tal como o índice S (Dexter, 2004), porosidade no domínio dos macroporos e da matriz do solo, capacidade de aeração, disponibilidade de água (Reynolds et al., 2002), e mais recentemente a capacidade relativa de água (RWC) ou capacidade de campo relativa (Reynolds et al., 2008, 2009, 2014).

A RWC define uma adequada disponibilidade de água e ar para a máxima produção biológica de nitrato (Reynolds et al., 2002), um dos principais fatores limitantes da produtividade de grãos em agricultura de sequeiro (Doran et al., 1990; Olness et al., 1998). A RWC pode ser considerada um indicador de qualidade de solo robusto porque sofre pouca influência da textura do solo, carbono orgânico e densidade do solo, e tem sido proposta a faixa ótima para as culturas (i.e.  $0.6 \leq RWC \leq 0.7$ ) aplicáveis para uma ampla gama de classes de solos sob atividade agrícola (Reynolds et al., 2008).

Os mesmos autores propõem metodologia para estimar a faixa adequada de indicadores a partir dessa faixa de RWC e sua relação com a densidade do solo, e, apontam a necessidade de validação para diferentes classes de solos, a necessidade de considerar uma camada de solo mais profunda (i.e. 0 - 30 cm), e a necessidade da inclusão de mais indicadores e sua correlação com a produtividade.

Dessa forma, quando se trabalha em sistemas agrícolas intensivos como no cerrado brasileiro, com Latossolo Vermelho, torna-se imprescindível aliar alta produtividade com boa qualidade física do solo, adotando práticas conservacionistas para alcançar o ótimo desempenho das culturas com uma mínima degradação do solo e do ambiente (Topp et al., 1997; Andrade; Stone, 2009).

Nesse contexto, buscou-se verificar a qualidade física do solo a partir de regressões lineares entre atributos indicadores e sua validação com a produtividade de milho em diferentes sistemas de manejo do solo.

## Material e Métodos

### Caracterização da Área Experimental

O experimento tem sido realizado na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG. Encontra-se nas coordenadas geográficas com latitude 19°27'S, longitude 44°10'W e altitude de 786 m. O clima da região se enquadra no tipo Cwa, segundo classificação de Köppen. A precipitação e a temperatura média anual são de 1.340 mm e 22°C, respectivamente (Lange et al., 2006). A classe de solo predominante foi classificada como Latossolo Vermelho distrófico argiloso caulínítico (Embrapa, 2013). A caracterização física e química do solo está apresentada no quadro 1.

**Quadro 1** – Caracterização física e química de um Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes Sistemas de manejo, no perfil de 0 - 40 cm, realizada em novembro de 2014.

Trat.	Argila	Silte	Areia	pH	CTC <sup>(1)</sup>	P	V <sup>(1)</sup>	m <sup>(1)</sup>	MOS <sup>(1)</sup>
	----- g Kg <sup>-1</sup> -----				cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	----- % -----		
	Perfil de 0 - 40 cm								
GA	578	225	197	5,4	8,3	7,1	33,1	1,6	3,7
AA	589	215	195	5,3	8,9	5,2	33,5	0,8	3,7
AD	635	196	169	5,6	9,8	7,9	33,1	0,4	4,5
AD/GA	573	216	211	5,7	8,0	5,3	37,5	0,5	3,6
SD	601	205	194	5,8	9,8	8,4	44,8	0,8	4,3
CN	790	90	120	5,1	9,4	2,2	13,8	24,4	4,6

<sup>(1)</sup>CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MOS: matéria orgânica.

Análise granulométrica e análise química determinado conforme (EMBRAPA, 2011). Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), e Cerrado Nativo (CN).

A área experimental vem sendo cultivada com milho desde 1995, no verão, sob diferentes sistemas de manejo do solo. Os sistemas de manejo avaliados foram a Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), além de uma área adjacente de Cerrado Nativo (CN) utilizadas como referência. Em cada tratamento as parcelas têm delimitada uma área útil pelas dimensões 20 x 16 m.

Os equipamentos utilizados para preparo do solo apresentam as seguintes especificações: GA intermediária com 16 discos de 28", AA com 3 lâminas, AD com 3 discos de 32" de diâmetro.

Em SD, realiza dessecação com glifosato antes do plantio, caracterizando semeadura sob baixa quantidade de palhada. Após o preparo do solo, é utilizada grade niveladora em todas as

parcelas, à exceção das que recebem o tratamento SD. No período de entressafra, aplica-se glifosato em toda a área experimental, às vezes seguida pela passagem de triturador.

Em todos os plantios utilizam-se cultivares comerciais do tipo híbrido simples de milho, produzidas pela Embrapa Milho e Sorgo. Os plantios foram efetuados com plantadora adubadora na população de 65,000 plantas ha<sup>-1</sup>, com adubação de plantio com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08 - 28 - 16 + 0,5 - N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O + Zn, respectivamente. Adubação de cobertura é realizada com 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (geralmente na forma de ureia ou sulfato de amônio) quando a cultura se apresenta com 4 a 6 folhas.

O controle de plantas daninhas nas culturas é realizado na pré ou pós-emergência para as populações específicas das plantas daninhas com herbicidas. O tratamento de sementes e a aplicação de inseticidas quando do ataque de pragas são realizados com produtos fitossanitários vigentes nos boletins de recomendação.

A partir do ano de 2007, foram realizadas práticas agrícolas (recomendação de calagem por tratamento, gessagem, ajustes na adubação de plantio e de nitrogênio em cobertura, disponibilidade de palhada, adequação no uso de herbicidas e manejo de pragas) em toda a área experimental visando otimizar o manejo do solo e à proteção da cultura para incrementos na produtividade.

A partir de 2008, as parcelas de SD têm recebido aporte de 50 Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde de milho cultivado previamente na primavera e rotação milho-soja. Em outubro de 2013 realizou-se calagem 2,4 Mg ha<sup>-1</sup> e gessagem 0,8 Mg ha<sup>-1</sup> nas parcelas. A irrigação é realizada na produção do milho quando necessária. Nestes tratamentos, a dessecação do milho ocorre com 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato 10 dias antes da semeadura.

### **Amostragens e Avaliações**

Coletaram-se amostras de solo deformadas e não deformadas em três trincheiras por tratamento, sendo cada trincheira considerada uma repetição. As trincheiras foram abertas na área central de cada parcela, deixando 7 metros de bordadura de cada lado, entre os meses de outubro e novembro 2014, antes da operação de preparo do solo e após precipitação de 40 milímetros de chuva. A amostragem foi realizada em 4 profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm), sendo que as amostras foram coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e diâmetro.

As amostras foram preparadas e umedecidas gradativamente por capilaridade com água destilada, até a saturação ter sido alcançada. Posteriormente foram pesadas para estimar a umidade na saturação ( $\theta_s$ ) e em seguida submetidas aos potenciais ( $\Psi$ ): -2, -4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa, utilizando placas porosas, conforme Klute (1986). Utilizou-se uma mesa de tensão

automatizada da marca ECOTECH para potenciais até -10 kPa e Câmara de Richards de média e alta pressão para os demais.

Após atingir o equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e ao final secas em estufa a 105 °C para quantificar a densidade do solo ( $D_s$ ) e os conteúdos de água ( $\theta$ ), em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , associados a cada potencial ( $\Psi$ ). A porosidade total ( $P_t$ ) foi considerada como equivalente a  $\theta_s$ . A Microporosidade (Micro) foi atribuída ao  $\theta$  em equilíbrio no potencial de -6 kPa. A Macroporosidade (Macro) foi determinada pela diferença entre  $P_t$  e Micro (Embrapa, 2011).

Determinou-se a capacidade de água disponível do solo às plantas (CAD) pela diferença entre capacidade de campo estimada pelo conteúdo de água retido a -6 kPa (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) a -1500 kPa.

A CC e PMP foram obtidos a partir dos dados modelados de retenção de água pelo modelo de Van Genuchten (1980), ajustado com auxílio do software RETC (Van Genuchten; Leij; Yates, 1991). O emprego de -6 kPa na estimativa da capacidade de campo tem sido apregoado para Latossolos intemperizados do Cerrado (Oliveira et al., 2004; Andrade & Stone, 2011; Silva, 2014; Silva et al., 2015).

O índice S proposto por Dexter (2004a) foi calculado a partir dos dados modelados de retenção de água no modelo de van Genuchten (1980) conforme equação:

$$S = -n (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1+1/m]^{-(1+m)}$$

Onde:

S = valor da inclinação da curva de retenção de água (CRA) no seu ponto de inflexão;

$\theta_{\text{sat}}$  = conteúdo de água saturado ( $\text{g g}^{-1}$ );

$\theta_{\text{res}}$  = conteúdo de água residual ( $\text{g g}^{-1}$ );

m e n = parâmetros empíricos da equação.

Ressalta-se que o alto valor do índice S indica presença de muitos poros estruturais bem como melhor configuração de poros no solo. Solos de cerrado com índice  $S > 0,045$  indicam boa qualidade estrutural e  $S < 0,025$  indicam solos fisicamente muito pobres (Streck et al., 2008; Andrade; Stone, 2009).

A capacidade de aeração do solo ( $A_{cb}$ ) indica a aeração do solo considerando tanto macro como microporos.

$$A_{cb} = P_t - CC$$

Apesar da simplicidade, este indicador tem sido muitas vezes útil, mesmo não contemplando as complexas interações solo-ar-água-planta-microrganismos (Reynolds et al., 2002, 2008). Valores de  $A_{cb} > 0,12 - 0,17 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  têm sido observados na zona radicular de lavouras de alta

produtividade em solos com textura média a argilosa, segundo vários trabalhos compilados por Reynolds et al. (2008).

A capacidade relativa de água no solo (RWC) expressa a capacidade do solo de armazenar ar e água em relação ao volume total de poros de solos (Reynolds et al., 2002, 2008, 2014), calculada por:

$$RWC = (CC/\theta_s) = [1 - (Acb/\theta_s)] = [(CAD + PMP)/\theta_s]$$

A RWC indica qual limitação é mais séria, se aeração ou hídrica. Valores de  $RWC < 0.6$  resultam em redução da atividade microbiana, ou seja, principalmente com redução na produção de nitrato devido às baixas taxas de água no perfil do solo. Por outro lado, os maiores valores,  $RWC > 0.7$ , resultam em redução da atividade microbiana devido à insuficiente disponibilização de ar do solo (Linn & Doran, 1984; Skopp et al., 1990). A faixa  $0.6 < RWC < 0.7$  tem sido proposta adequada a solos sob agricultura em condições de sequeiro para máxima atividade microbiológica (Reynolds et al., 2002).

A resistência à penetração de raízes no solo (RP) foi determinada utilizando-se o penetrômetro de Impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), a partir da superfície do solo até a profundidade de 40 cm, com uma amostragem em cada parcela experimental, sendo todas realizadas no mesmo dia, seguindo metodologia adaptada descrita por (Stolf, 1991).

Por ocasião da colheita, as produtividades de grãos de milho foram avaliadas no final do ciclo da cultura, nas duas linhas centrais de cada parcela, numa área útil de 14 m<sup>2</sup>, convertendo-se para Mg ha<sup>-1</sup>, com umidade do grão ajustada para 13%.

### **Análise dos Dados**

Foi verificada a existência de correlação entre RWC e Ds, utilizando dados médios do perfil de solo analisado (0 - 40 cm). Após confirmação, a faixa ótima para os indicadores foi obtida das regressões lineares entre os indicadores e a Ds como variável independente, a partir das quais os valores limítrofes para cada indicador são obtidos, como proposto por Reynolds et al. (2008).

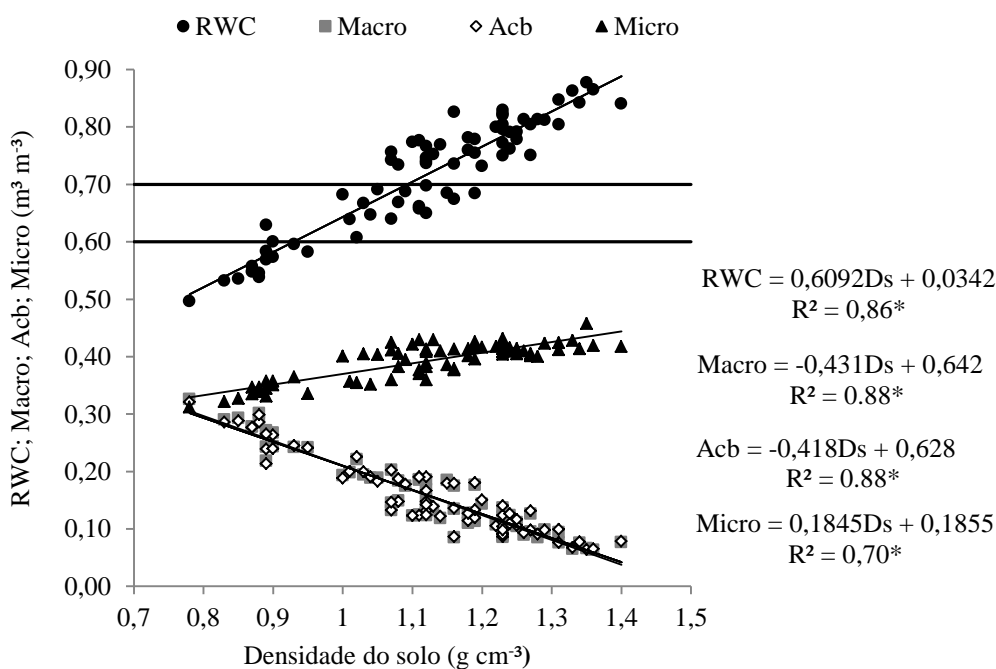
Contudo, o método foi modificado para utilização de regressões lineares simples com todas as repetições e não regressões estruturais com as médias, como proposto inicialmente por Reynolds et al. (2008). Foram realizadas também correlações lineares entre os indicadores e a produtividade média de milho dos 20 anos de cultivo e também com a produtividade da última colheita, safra 2014/2015. Essas últimas realizadas para o perfil do solo (0 - 40 cm) e também com os dados

separados por camada de solo avaliada (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm). A magnitude e a significância estatística das regressões lineares foram avaliadas pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pelo p-valor do modelo, respectivamente.

## Resultados e Discussão

Foram observadas relações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por regressões lineares entre  $D_s$  com RWC ( $R^2 = 0,86$ ), Macro ( $R^2 = 0,88$ ), Acb ( $R^2 = 0,88$ ) e Micro ( $R^2 = 0,70$ ), apresentadas na figura 1. Reynolds et al. (2008) sugerem que essas relações lineares não são previstas, mas podem refletir a dependência das variáveis com  $\theta_s$  que é linearmente relacionada à  $D_s$  pela expressão  $[\theta_s \approx Pt = 1 - (D_s/D_p)]$ , em que  $D_p$  é a densidade de partículas do solo.

O aumento da  $D_s$  (Figura 1) foi ocasionada pelas operações mecanizadas de preparo do solo e tratos culturais, promovendo a redução da porosidade, e poros de maior tamanho sofrem redução mais nítida (Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Mazurana et al., 2011 e Guedes Filho et al., 2013).



**Figura 1** - Variação da densidade do solo ( $D_s$ ), Capacidade relativa de água (RWC), Macroporosidade (Macro), capacidade de aeração (Acb) e Microporosidade (Micro) com base na faixa ideal de 0,6 a 0,7. \* Significativo do modelo linear ( $p < 0,05$ ).

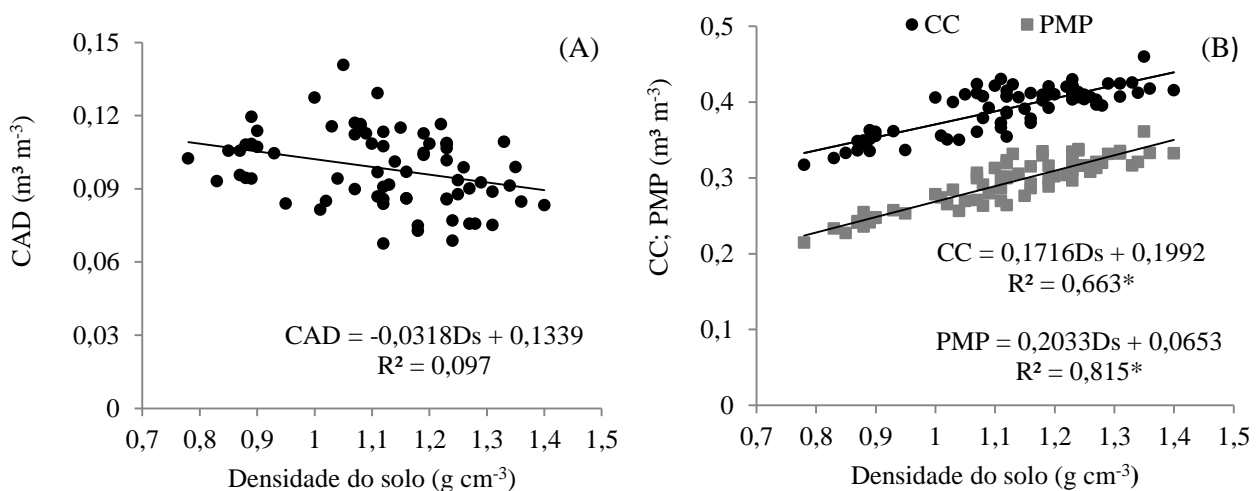
Assim, o parâmetro Macro e o indicador Acb foram eficientes em demonstrar essa relação, o que pode ser observado pela inclinação negativa da reta (Figura 1). O comportamento praticamente idêntico do resultado de Macro e Acb é devido à adoção do potencial mátrico de -6 kPa, obtido no

modelo de retenção de água, como critério de estimativa da CC, prática em geral empregada em Latossolos muito intemperizados (Silva et al. 2014).

Os resultados da figura 1 também mostram que a escolha do diâmetro de 0.05 mm como limítrofe entre macro e microporos foi eficiente para demonstrar o efeito da compactação do solo. Nesse sentido os poros menores que 0.05 mm (micro) aumentaram ligeiramente, porém significativamente ( $p < 0,05$ ), com a Ds, o que tem sido observado em Latossolos submetidos a sistemas de preparo (Lima et al., 2007; Matias et al., 2009; Niero et al., 2010; Demarqui et al., 2011; Wendling et al., 2012; Silva et al., 2012; Silva et al., 2015).

A CAD não apresentou relação estatisticamente significativa com a Ds (Figura 2A). Pode ser observado que ambos CC e PMP apresentaram aumento significativo ( $p < 0,05$ ) com a Ds (Figura 2B), o que explica a ausência de variação da CAD com a Ds. Esses resultados também foram observados em diferentes solos sob diferentes usos por Reynolds et al. (2008).

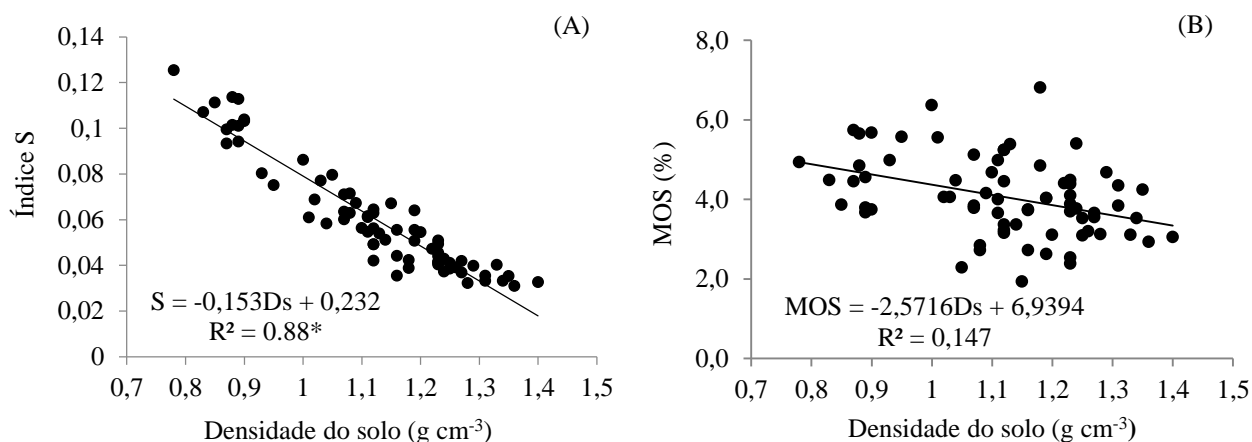
Analogamente ao que foi explicado por esses autores, sugere-se que com o aumento da Ds ocasionado pelo preparo do solo há uma reconfiguração na distribuição dos poros por tamanho, observando redução de poros de tamanho intermediário e, aumento de poros muito pequenos (Oliveira et al. 2004), promovendo retenção de água a potenciais muito negativos.



**Figura 2** - Variação da capacidade de água disponível (CAD) (A), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) (B) em função da densidade do solo para todos os manejos avaliados.

Observou-se correlação significativa e negativa entre a Ds e o Índice S (Figura 3A). À medida que os valores de Ds aumentam, os valores do índice S sofrem uma redução, concordando com Stone et al. (2005) e Silva et al. (2012) que também avaliariam um Latossolo Vermelho Distrófico; Tormena et al. (2008) em áreas sob cultivo de milho, Aratani et al. (2009) em Latossolo

Vermelho acriférrico, e por Andrade e Stone (2009) em análise de diferentes amostras de solos do Cerrado.



**Figura 3** - Índice S (A) e teor de matéria orgânica (MOS) (B), em função da densidade do solo para todos os manejos avaliados.

Vale ressaltar que o alto valor do índice S indica melhor qualidade do solo. Para os solos do Cerrado o índice  $S > 0,045$  indica boa qualidade estrutural, portanto, menor restrição física para o crescimento de raízes das plantas. Esta restrição pode ocorrer devido aeração, por restrição mecânica ou por características de retenção de água e valores de  $S < 0,025$  indicam solos fisicamente muito pobres e com alta restrição ao crescimento das raízes das plantas (Streck et al., 2008; Andrade; Stone, 2009).

Observa-se na (Figura 3A) uma redução na qualidade estrutural do solo para valores de densidade superiores a  $1,22 \text{ g/cm}^3$ , enfatizando que o aumento da Ds causa a redução da qualidade estrutural (Tormena et al., 2008). Essa redução da qualidade física pode estar associada ao preparo do solo sob a utilização de máquinas e implementos agrícolas sem considerar a umidade ótima para operações mecanizadas (Dexter & Bird, 2001; Severiano et al., 2009) porém o mesmo manteve entre esses dois limites considerados ideais, mostrando ser um solo que apresenta uma boa qualidade física (Li et al., 2011 e Cunha et al., 2011).

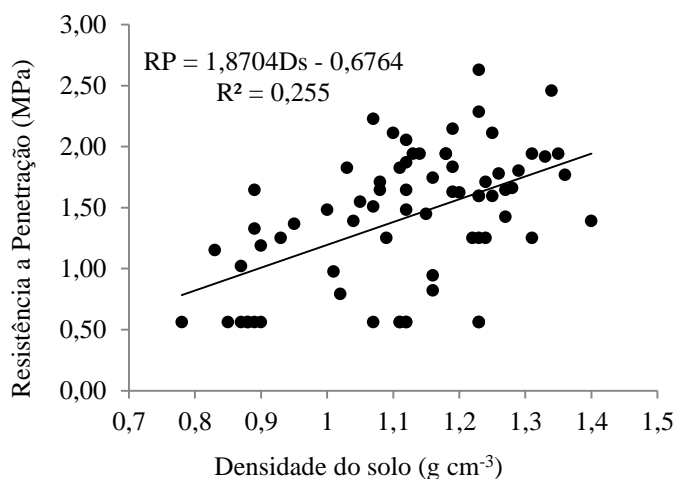
A (Figura 3B) mostra que não houve correlação significativa entre a Ds e MOS. Isso pode ser explicado devido ao solo possuir textura muito argilosa, acarretando em uma maior proteção da MOS. Assim, com o aumento da Ds não ocasionou redução da MOS. Hassink et al (1997) relatam que o carbono associado aos complexos organominerais é quimicamente protegido e essa proteção é proporcional ao teor de silte e argila do solo.

Portanto, com o aumento do teor de argila, especialmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al, a proporção de porosidade total encontrada em poros pequenos aumenta e a MOS pode ser mantida em altos níveis, principalmente pela sua maior estabilidade coloidal, a qual a protege da decomposição pelos microrganismos e contribui para maior estabilização da MOS nesses solos (Chenu & Stotzky, 2002; Six et al., 2002b).

Em solos de textura arenosa, a macroagregação pode ser o principal fator de estabilização da MOS, enquanto que em solos argilosos ricos em óxidos ocorre formação de microagregados altamente estáveis, em que grande parte da MOS pode ser protegida fisicamente em locais inacessíveis aos microrganismos (Tisdall & Oades, 1982; Six et al., 1998; Six et al., 2000b).

A (Figura 4) mostra que não houve uma correlação significativa entre a Ds e a RP. Salienta-se que RP além de depender da Ds, é muito influenciada pela umidade do solo. As variações de umidade no momento da coleta dos dados em função dos tratamentos podem ter reduzido o poder da relação apresentada na figura 4. Destaca-se que a RP observada em toda a área se mostrou dentro dos limites considerados aceitáveis, não prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das raízes da cultura.

Valores críticos de RP para a cultura milho situam-se na faixa entre 1,5 a 2,5 MPa (Taylor et al., 1966; Tormena et al., 1999), sendo observadas poucas ocorrências de RP acima de 2.5 MPa. Do mesmo modo, a Ds variou de 0,78 a 1,40 g cm<sup>-3</sup>, permanecendo dentro de uma faixa considerada aceitável, inferior ao valor de 1,40 g cm<sup>-3</sup>, considerado limitante para culturas anuais em Latossolo Vermelho distrófico argiloso (Reichert et al., 2003; Spera et al., 2004).



**Figura 4** - Índice de resistência à penetração (RP), em função da densidade do solo para todos os manejos avaliados.

## Inferência de faixas adequadas

A partir das equações obtidas pelas regressões lineares significativas ( $p < 0.05$ ) entre os atributos indicadores da qualidade física e Ds (Figuras 1, 2, 3 e 4) foram inferidas as faixas adequadas para cada atributo em função da faixa de Ds considerada adequada. Os resultados são apresentados no quadro 2.

A faixa de Ds mais adequada ao cultivo do milho foi determinada como sendo entre 0,928 e 1,092 g cm<sup>-3</sup> (Quadro 2), obtida pela relação significativa entre Ds e RWC (Figura 1), a partir da premissa de que a faixa ideal  $0.6 \leq RWC \leq 0.7$  é válida para diferentes classes de solos e manejos adotados, para cultivo de grãos (Reynolds et al. 2008).

**Quadro 2** - Faixas ideais para os indicadores de qualidade física do solo: comparação de valores de referência na literatura e resultados das regressões lineares para Latossolo Vermelho distrófico em diferentes sistemas de manejo de solos agrícolas.

Indicador	Valores de referência na literatura <sup>c</sup>	Regressão <sup>a</sup>
Densidade do solo, Ds (g cm <sup>-3</sup> )	$0,9 \leq Ds \leq 1,2$	$0,928 \leq Ds \leq 1,092$
Capacidade de aeração, Acb (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$0,12 - 0,17 \leq Acb \leq nd^b$	$0,171 \leq Acb \leq 0,242$
Macroporosidade, Macro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$0,05 - 0,10 \leq Macro \leq nd^b$	$0,171 \leq Macro \leq 0,242$
Microporosidade, Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$0,250 \leq Micro \leq 0,330$	$0,356 \leq Micro \leq 0,387$
Matéria orgânica do solo, MOS (%)	$3 \leq MOS \leq 5$	Não obteve correlação
Capacidade de campo, CC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$0,30 \leq CC \leq 0,35$	$0,36 \leq CC \leq 0,39$
Capacidade de água, disponível, CAD (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$CAD \geq 0,20$ “ideal”	Não obteve correlação
Índice S	$0,025 \leq S \leq 0,045$	$0,065 \leq S \leq 0,090$
Resistência a Penetração, RP (MPa)	$1,5 \leq RP \leq 2,5$	Não obteve correlação
Capacidade relativa de água, RWC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$0.6 \leq RWC \leq 0.7$	$0.6 \leq RWC \leq 0.7$

<sup>a</sup>Fontes de dados no texto; <sup>b</sup>Não definido; <sup>c</sup>Presumido faixa ideal com base na literatura (Taylor et al., 1966; Tormena et al., 1999; Lima et al. 2007; Reynolds et al. 2009; Andrade; Stone, 2009).

Resultados semelhantes para a faixa ideal de Ds foram encontrados por outros autores em estudos de diferentes manejos do solo em Latossolo Vermelho (Araújo et al., 2004; Costa et al.,

2006). Deve notar-se, no entanto, que pequenas alterações na Ds podem ocasionar grandes variações em outros parâmetros físicos de qualidade do solo resultando em valores não aceitáveis para Latossolo vermelho distrófico.

Ao se estabelecer uma relação entre Macro e Acb, a faixa ideal de RWC, de acordo com as regressões, variou entre 0,171 e 0,242 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Quadro 2), tendo em vista que foram realizadas em potenciais idênticos (Costa et al., 2006 e Silva et al., 2012). Além disso, Hao et al. (2007) propõem uma Macro  $\geq 0,10$  m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para obter uma melhor capacidade de aeração do solo, corroborando a do presente trabalho.

Embora não exista relato evidente na literatura sobre o limite superior para valor de Acb (Figura 1), os maiores valores deste indicador podem ser aceitos pela análise de regressão. Por outro lado, importante considerar que o excesso de aeração do solo pode estimular o consumo oxidativo da matéria orgânica ocasionando uma rápida perda por evaporação da água no perfil do solo (Reynolds et al., 2008)

A relação entre Micro e a faixa ideal de RWC teve uma variação de 0,356 a 0,387 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Quadro 2). Lima et al. (2007) relatam que a porosidade de um Latossolo com textura argilosa é considerada ideal quando se apresenta com 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> do seu volume total, no qual a Micro variaria entre 0,250 e 0,330 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

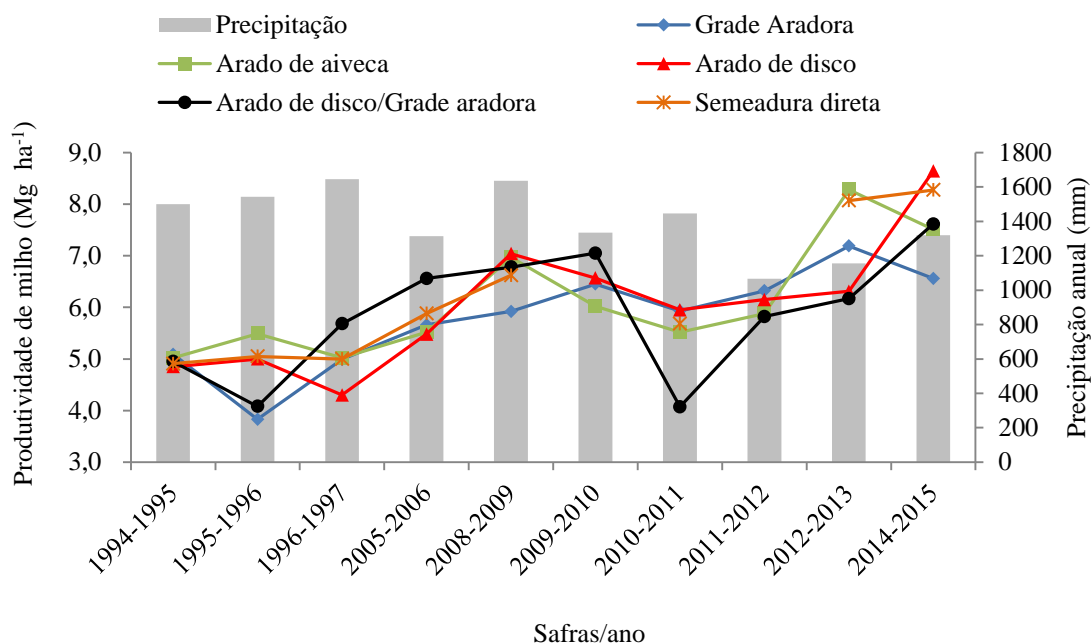
Ao se analisar o índice S utilizando valores de referência  $0.6 \leq RWC \leq 0.7$ , pode-se inferir que os valores de Índice S adequados ao cultivo milho estão entre 0,065 e 0,090 (Quadro 2). Assim, verifica-se que pela metodologia proposta por Reynolds et al. (2008), os valores de índice S adequados ao cultivo assumem valores maiores do que aqueles sugeridos por Dexter (2004) e mesmo os sugeridos por Andrade e Stone (2009) para solos do cerrado. Nesse sentido, salienta-se a importância do adequado manejo do solo, a fim de se obter propriedades físicas favoráveis ao cultivo agrícola com máxima produtividade econômica e conservação ambiental.

### **Dados de precipitação e produtividade de milho**

Na (Figura 5) são apresentadas as distribuições de frequência da precipitação anual (mm) e produtividade de grãos de milho (Mg ha<sup>-1</sup>) avaliado num intervalo de vinte anos sob diferentes sistemas de manejo. Entretanto, observa-se que a produtividade do milho varia em decorrência das variáveis climáticas, ou seja, disponibilidade hídrica, temperatura e radiação (Bergamaschi et al., 2004, 2006).

Destaca-se ainda, no caso de cultivos de sequeiro, que o fator predominante é a disponibilidade hídrica e sua distribuição ao longo do ciclo da cultura, como uma das principais

causas de perda de rendimento em milho, exercendo efeitos variados sobre a planta, dependendo de seu estágio de desenvolvimento e da sua duração (Sousa & Peres, 1998; Kunz et al. (2007).



**Figura 5** – Dados de produtividade de milho grão (Mg ha<sup>-1</sup>) e precipitação anual (mm) das safras de (1994 - 1995 a 2014 - 2015) em um Latossolo Vermelho distrófico, em diferentes sistemas de manejo (Arado de aiveca, Arado de disco/grade aradora, grade aradora, Arado de disco e Semeadura direta). Dados da estação meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas (MG).

### Validação e correlações com produtividade

Foi correlacionada a média de produtividade de milho dos 20 anos com os atributos indicadores de qualidade do solo (Quadro 3), da mesma forma foi realizada para a produtividade da última safra (2014/2015). No geral, houve baixa correlação entre a produtividade e os atributos de qualidade do solo.

A produtividade da safra 2014/2015 apresentou significância com MOS diferentemente para as camadas amostradas. A 5% de significância, houve correlação significativa na camada de 20 a 40 cm para a produtividade ( $r= 0,911$ ,  $p= 0,031$ ). Esta correlação, a 10% de significância, foi significativa para amostragem de 0 a 40 cm ( $r= 0,840$ ,  $p= 0,075$ ). Para a camada de 10 a 20 cm a significância foi de ( $r= 0,856$ ,  $p=0,064$ ).

Também foi verificada correlação significativa para microporosidade (Micro) na camada de 20 a 40 cm para produtividade da última safra 2014/2015 ( $r= 0,862$ ,  $p= 0,054$ ). Isso pode ser explicado devido principalmente à presença de maior quantidade de MOS “presa” nos microagregados capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de

reciclar mais nutrientes, reflete em maior teor de carbono da biomassa microbiana. A biomassa microbiana representa a parte viva e mais ativa da matéria orgânica e é mais sensível ao preparo do solo que a parte morta (Silva et al., 2007; Jakelaitis et al., 2008; Carneiro et al., 2009).

Os demais atributos físicos avaliados não apresentaram correlação com a produtividade média dos 20 anos, nem com a produtividade da safra 2014/2015 (Quadro 3), não sendo fator limitante da produtividade, o que sugere que os sistemas de manejo empregados não provocaram alterações físicas em níveis prejudiciais à produtividade da cultura do milho.

**Quadro 3** – Correlação linear entre os atributos físicos e a produtividade média dos últimos vinte anos e a da última safra (2014/2015) de milho em um Latossolo vermelho distrófico.

		MOS <sup>1</sup>	Ds <sup>2</sup>	Pt <sup>3</sup>	Acb <sup>4</sup>	Macro <sup>5</sup>	Micro <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>	CAD <sup>8</sup>	RWC <sup>9</sup>
<b>Perfil de 0 - 40 cm</b>										
Média 20 anos	r	0,532	-0,264	0,141	0,128	0,088	0,068	0,317	-0,054	-0,081
	P-valor	0,357	0,668	0,821	0,837	0,888	0,913	0,603	0,931	0,897
2014/2015	r	0,840	-0,316	0,215	0,204	0,127	0,096	0,096	-0,624	-0,142
	P-valor	0,075**	0,604	0,728	0,742	0,839	0,878	0,878	0,260	0,820
<b>0-5 cm</b>										
Média 20 anos	r	-0,216	-0,643	0,033	0,518	0,506	-0,727	0,612	-0,131	-0,555
	P-valor	0,727	0,242	0,958	0,371	0,384	0,164	0,272	0,833	0,331
2014/2015	r	0,104	-0,490	-0,083	0,338	0,290	-0,535	0,227	-0,569	-0,383
	P-valor	0,867	0,403	0,894	0,578	0,636	0,353	0,714	0,317	0,525
<b>5-10 cm</b>										
Média 20 anos	r	0,440	0,305	0,000	-0,408	-0,424	0,691	-0,289	0,012	0,580
	P-valor	0,459	0,618	1,000	0,495	0,477	0,196	0,637	0,985	0,306
2014/2015	r	0,367	-0,277	0,640	0,245	0,231	0,126	0,328	-0,620	-0,039
	P-valor	0,543	0,651	0,245	0,691	0,708	0,840	0,591	0,264	0,950
<b>10-20 cm</b>										
Média 20 anos	r	0,511	-0,300	0,453	0,384	0,357	-0,191	0,505	0,149	-0,370
	P-valor	0,379	0,624	0,444	0,523	0,555	0,758	0,385	0,810	0,540
2014/2015	r	0,856	0,025	0,095	-0,021	-0,088	0,359	-0,152	-0,618	0,018
	P-valor	0,064**	0,969	0,880	0,974	0,888	0,553	0,807	0,266	0,977
<b>20-40 cm</b>										
Média 20 anos	r	0,508	-0,272	-0,005	0,007	-0,087	0,274	0,105	-0,118	-0,039
	P-valor	0,382	0,658	0,994	0,991	0,889	0,655	0,867	0,850	0,950
2014/2015	r	0,911	-0,181	0,099	-0,050	-0,186	0,862	-0,073	-0,382	0,089
	P-valor	0,031*	0,771	0,875	0,936	0,764	0,054**	0,908	0,526	0,887

<sup>(1)</sup>MOS: matéria orgânica; <sup>(2)</sup>DS: densidade do solo; <sup>(3)</sup>Pt: porosidade total; <sup>(4)</sup>Acb: capacidade de aeração; <sup>(5)</sup>Macro: macroporosidade; <sup>(6)</sup> Micro: microporosidade; <sup>(7)</sup>S: índice S; <sup>(8)</sup>CAD: capacidade de água disponível; <sup>(9)</sup>RWC: capacidade relativa de água. \*, \*\*: significativo a 5 e 10 %, respectivamente.

## **Conclusões**

A densidade do solo não apresentou correlação com a matéria orgânica, capacidade de água disponível do solo e resistência à penetração.

As regressões lineares possibilitaram definir faixas adequadas referentes à qualidade física do Latossolo Vermelho distrófico para a densidade, capacidade de aeração, macroporosidade, microporosidade, capacidade de campo, índice S e capacidade relativa de água.

A matéria orgânica do solo correlacionou de forma linear no perfil de 0 – 40 cm e nas camadas de 10 - 20 e 20 - 40 cm com a produtividade do milho na safra (2014/2015).

A microporosidade correlacionou na camada de 20 - 40 cm com a produtividade do milho na safra (2014/2015), demonstrando serem os melhores atributos, dentre os pesquisados, para estimar a produtividade da cultura do milho.

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), à CNPq, à Fapemig e à Embrapa Milho e Sorgo.

## Referências

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, dez. 2009.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 111-116, 2011.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C., WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, Viçosa, Mar/Jun, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. R. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARSHAD, M. A. & MARTIN, S. Identify in critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.
- BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A., & PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e Gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 4, p. 1057-1071, 2012.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. D. S., & CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagens cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 06, p. 631-637, 2009.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M., & FREITAS, D. D. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 02, p. 613-622, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. D.; PEREIRA, H. S., & AZEVEDO, W. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 06, p. 1381-1396, 2007.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G., & KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CHENU, C.; STOTZKY, G. Interactions between microorganisms and soil particles. An overview. In: HUANG, P.M.; BOLLAG, J.M.; SENESI, N. (eds.) **Interactions between soil particles and microorganisms**. Weinheim: Wiley VCH Verlag, p. 3-39, 2002.

COCKROFT, B.; OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. **Developments in soil science**, v. 25, p. 339-350, 1997.

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

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho . I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, mar-abr. 2011.

DA COSTA SEVERIANO, E.; DE OLIVEIRA, G. C.; CURI, N., & JÚNIOR, M. D. S. D. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 159-168, 2009.

DEMARQUI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da micro bacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 07–29, 2011.

DEXTER, A. R.; BIRD, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, v. 57, n. 4, p. 203-212, 2001.

DEXTER A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.

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

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, jun. 2004b.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 227-239, jun. 2004c.

DORAN, J. W.; MIELKE, L. N., & POWER, J. F. Microbial activity as regulated by soil water-filled pore space. In: **Transactions 14th International Congress of Soil Science**, Kyoto, Japan, v. 3, p. 94-99, 1990.

DORAN, J. W.; PARKIN, TIMOTHY B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, Madison: Soil Science Society of America Proceedings, v. 1, cap.1, p. 3-21, 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p. 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 353 p. 2013.

GUEDES FILHO, O.; BLANCO-CANQUI, H.; DA SILVA, A. P. Least limiting water range of the soil seedbed for long-term tillage and cropping systems in the central Great Plains, USA. **Geoderma**, v. 207, p. 99-110, 2013.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M., & REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2013.

HAO, X.; BALL, B. C.; CULLEY, J. L. B.; CARTER, M. R.; PARKIN, G. W. Soil density and porosity, In: Carter, M. R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd edition. **Canadian Society of Soil Science**. Taylor and Francis, LLC, Boca Raton, FL, p. 743–759, 2007.

HASSINK, J.; WHITMORE, A. P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 131-139, 1997.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

JAKELAITIS, A.; DA SILVA, A. A.; DOS SANTOS, J. B., & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, p. 635-662, 1986.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A.R; HUANGGET, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 2, p. 82-88, jun. 2011.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 6, p. 1267-1272, 1984.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R., & DA CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 331-338, 2009.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.

MELO FILHO, J. D.; SOUZA, A. L. V., & SOUZA, L. D. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 06, p. 1599-1608, 2007.

MELO FILHO, J. F. D.; CARVALHO, L. L. D.; SILVEIRA, D. D. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S. D., & SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 04, p. 1168-1177,2009.

NEVES, C. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M., & SOUZA, F. D. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 74, n. 02, p. 45-53, 2007.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M., & DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S., & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OLNESS, A.; CLAPP, C.E.; LIU, R.; PALAZZO, A.J. Biosolids and their effects on soil properties. In: WALLACE, A.; TERRY, R.E. (Eds.), **Handbook of Soil Conditioners**. Marcel Dekker, New York, NY, p.141-165, 1998.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S., & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1, p. 131-146, 2002.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M. & TAN, C.S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466-474, 2008.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A., & YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v. 152, n. 3, p. 252-263, 2009.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S., & YANG, J. Y. Impacts of 48 years of consistent cropping, fertilization and land management on the physical quality of a clay loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, n. 3, p. 403-419, 2014.

SILVA, M. B. DA.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. DA.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1755-1761, 2007.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338-345, mai./jun. 2012.

SILVA, B. M.; SILVA, É. A. D.; OLIVEIRA, G. C. D.; FERREIRA, M. M., & SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464-475, 2014.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, É. A.; FERREIRA, M. M.; NORTON, L. D., & CURI, N. Critical soil moisture range for a coffee crop in a oxidic Latosol as affected by soil management. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 103-113, 2015.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R., & MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 01, p. 48-55, 2006.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K., & DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 241, p. 155-176, 2002b.

SOUSA, S. A. V.; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 33, n. 12, p. 1951-1956, 1998.

SKOPP, J.; JAWSON, M. D.; DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 6, p. 1619-1625, 1990.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S., & TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

STONE, L. F.; SILMEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L. F.; BALBINO, L. C.; CUNHA, E. Q. Índice S como indicador da qualidade física do solo. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Canoas: Sociedade Brasileira Engenharia Agrícola, 2005.

STRECK, C. A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. & HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 32, p. 2603 - 2612, 2008.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F.J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. **Developments in Soil Science**, v. 25, p. 21-58, 1997.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A., & FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 286-292, 1999.

TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. D.; IMHOFF, S. D. C.; DEXTER, ANTHONY ROGER. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 1, p. 56-60, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. TH.; LEIJ, F. J. & YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside, U. S. Salinity Laboratory, 1991.

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

## Considerações Finais

O conhecimento das propriedades físicas do solo pode auxiliar na adoção do melhor manejo bem como podem contribuir no entendimento do comportamento do solo e das plantas. Em relação aos sistemas convencionais, o sistema conservacionista manejado por longo período melhora as condições físicas e hídricas do solo, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo esses efeitos mais evidentes nas camadas superficiais do solo.

Todavia, para melhor compreensão dos efeitos dos sistemas de manejo do solo nos atributos físicos e hídricos e no crescimento e desenvolvimento das culturas é necessário manter estudos científicos de longa duração, integrando outras variáveis que possam avaliar a qualidade física do solo por longos períodos.

Diante do exposto, recomenda-se a disseminação e o fortalecimento das práticas agrícolas focadas no desenvolvimento sustentável tais como os sistemas de plantio direto que associam numa mesma área o escalonamento de rotação de cultura, propiciando uma melhora na qualidade do solo.

Pra isso faz-se necessário a criação de políticas agrícolas que conscientizem tanto o pequeno quanto o grande produtor das vantagens dos sistemas conservacionistas sob o preparo convencional, enfocando que a adoção das práticas de cultivo do primeiro promove a redução dos impactos de degradação do solo e possibilita a conservação das condições ambientais em respeito à capacidade produtiva do solo, da água e a biodiversidade.

Ao optar por práticas agrícolas sustentáveis o produtor garante a conservação da qualidade do solo, que por sua vez favorecerão não somente o aumento da produtividade das culturas, como também contribuirá para manter o equilíbrio e a preservação do ambiente.

**Anexos:**

**Anexo I - Resultados dos parâmetros físicos em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).**

Trat	Prof (cm)	Rep	Ds <sup>1</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	RWC <sup>2</sup>	Macro <sup>3</sup>	Micro <sup>4</sup>	Acb <sup>5</sup>	CAD <sup>6</sup>	CC <sup>7</sup>	PMP <sup>8</sup>	Índice S <sup>9</sup>	MOS <sup>10</sup> (%)	RP <sup>11</sup> (MPa)
-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----													
GA	0-5	1	1,22	0,800	0,107	0,418	0,105	0,116	0,420	0,304	0,047	4,4	1,25
GA	0-5	2	1,04	0,647	0,189	0,352	0,191	0,094	0,350	0,256	0,058	4,47	1,39
GA	0-5	3	0,95	0,583	0,242	0,336	0,241	0,084	0,337	0,253	0,075	5,57	1,36
GA	5-10	1	1,35	0,877	0,066	0,458	0,064	0,099	0,460	0,361	0,035	4,24	1,94
GA	5-10	2	1,29	0,812	0,099	0,423	0,098	0,093	0,424	0,332	0,040	4,67	1,80
GA	5-10	3	1,11	0,777	0,125	0,429	0,124	0,129	0,430	0,301	0,055	4,98	1,82
GA	10-20	1	1,12	0,737	0,151	0,411	0,148	0,113	0,415	0,301	0,064	3,22	1,64
GA	10-20	2	1,16	0,826	0,085	0,413	0,086	0,097	0,412	0,315	0,035	2,72	1,74
GA	10-20	3	1,25	0,792	0,105	0,405	0,106	0,088	0,404	0,316	0,038	3,09	1,59
GA	20-40	1	1,05	0,692	0,189	0,404	0,183	0,141	0,410	0,269	0,080	2,28	1,54
GA	20-40	2	1,15	0,685	0,185	0,386	0,180	0,115	0,391	0,276	0,067	1,93	1,45
GA	20-40	3	1,23	0,829	0,086	0,422	0,087	0,109	0,421	0,312	0,042	2,38	1,59
AA	0-5	1	1,07	0,640	0,203	0,360	0,203	0,090	0,360	0,271	0,063	3,84	0,56
AA	0-5	2	1,23	0,824	0,090	0,431	0,092	0,108	0,430	0,321	0,049	4,48	0,56
AA	0-5	3	1,11	0,658	0,186	0,370	0,190	0,097	0,366	0,269	0,061	3,65	0,56
AA	5-10	1	1,16	0,736	0,135	0,379	0,136	0,086	0,378	0,292	0,044	3,72	0,82
AA	5-10	2	1,23	0,772	0,121	0,423	0,124	0,086	0,420	0,334	0,045	4,09	0,56
AA	5-10	3	1,16	0,674	0,175	0,377	0,180	0,086	0,372	0,286	0,055	3,74	0,94
AA	10-20	1	1,27	0,804	0,095	0,405	0,098	0,090	0,403	0,313	0,037	3,55	1,42
AA	10-20	2	1,09	0,688	0,175	0,395	0,178	0,113	0,392	0,279	0,067	4,15	1,25
AA	10-20	3	1,19	0,685	0,177	0,396	0,181	0,104	0,392	0,288	0,064	4,03	1,83
AA	20-40	1	1,2	0,732	0,144	0,416	0,150	0,108	0,410	0,302	0,054	3,1	1,62
AA	20-40	2	1,08	0,669	0,184	0,382	0,188	0,116	0,379	0,263	0,071	2,84	1,71
AA	20-40	3	1,26	0,814	0,090	0,410	0,093	0,099	0,406	0,308	0,039	3,19	1,78
AD	0-5	1	1,02	0,608	0,221	0,355	0,226	0,085	0,350	0,265	0,069	4,05	0,79
AD	0-5	2	0,93	0,596	0,242	0,364	0,245	0,104	0,361	0,257	0,080	4,98	1,25
AD	0-5	3	1,01	0,640	0,199	0,357	0,200	0,081	0,355	0,274	0,061	5,55	0,97
AD	5-10	1	1,24	0,762	0,124	0,409	0,127	0,069	0,406	0,338	0,043	3,76	1,71
AD	5-10	2	1,13	0,753	0,133	0,429	0,139	0,092	0,423	0,331	0,054	5,38	1,94
AD	5-10	3	1,12	0,747	0,129	0,389	0,131	0,068	0,387	0,319	0,042	5,24	1,87
AD	10-20	1	1,25	0,779	0,111	0,414	0,116	0,093	0,409	0,316	0,041	3,52	2,11
AD	10-20	2	1,12	0,741	0,136	0,413	0,142	0,084	0,407	0,323	0,049	5,24	2,05
AD	10-20	3	1,18	0,782	0,110	0,414	0,114	0,075	0,410	0,335	0,042	4,84	1,94
AD	20-40	1	1,23	0,750	0,137	0,426	0,140	0,108	0,422	0,314	0,051	3,69	2,28
AD	20-40	2	1,03	0,667	0,195	0,405	0,200	0,116	0,400	0,284	0,077	4,05	1,82
AD	20-40	3	1,19	0,779	0,114	0,426	0,119	0,105	0,420	0,316	0,051	4,02	2,14
AD/GA	0-5	1	1,12	0,650	0,185	0,359	0,191	0,091	0,354	0,264	0,063	3,36	0,56
AD/GA	0-5	2	1,11	0,662	0,186	0,377	0,190	0,087	0,372	0,286	0,061	4	0,56
AD/GA	0-5	3	1,12	0,698	0,169	0,382	0,167	0,086	0,385	0,299	0,056	4,45	0,56
AD/GA	5-10	1	1,4	0,841	0,077	0,417	0,079	0,083	0,416	0,332	0,033	3,05	1,39
AD/GA	5-10	2	1,31	0,804	0,094	0,412	0,099	0,075	0,407	0,332	0,035	3,84	1,25
AD/GA	5-10	3	1,23	0,796	0,104	0,409	0,104	0,086	0,408	0,323	0,040	4,38	1,25

AD/GA	10-20	1	1,33	0,863	0,065	0,428	0,068	0,109	0,425	0,316	0,040	3,1	1,92
AD/GA	10-20	2	1,27	0,751	0,126	0,401	0,131	0,076	0,396	0,321	0,042	3,65	1,64
AD/GA	10-20	3	1,31	0,847	0,076	0,424	0,076	0,089	0,424	0,335	0,033	4,34	1,94
AD/GA	20-40	1	1,19	0,755	0,128	0,416	0,133	0,113	0,410	0,297	0,055	2,62	1,63
AD/GA	20-40	2	1,28	0,813	0,085	0,401	0,091	0,076	0,395	0,320	0,032	3,12	1,66
AD/GA	20-40	3	1,12	0,767	0,123	0,409	0,124	0,107	0,408	0,301	0,049	3,15	1,48
SD	0-5	1	1,18	0,760	0,128	0,401	0,127	0,073	0,402	0,329	0,039	6,81	1,94
SD	0-5	2	1,24	0,791	0,107	0,415	0,109	0,077	0,413	0,336	0,037	5,4	1,25
SD	0-5	3	1	0,683	0,193	0,401	0,189	0,127	0,405	0,278	0,086	6,36	1,48
SD	5-10	1	1,34	0,842	0,076	0,414	0,077	0,091	0,412	0,321	0,033	3,52	2,45
SD	5-10	2	1,23	0,821	0,088	0,413	0,090	0,102	0,412	0,310	0,041	3,88	2,63
SD	5-10	3	1,07	0,756	0,133	0,411	0,133	0,112	0,412	0,299	0,060	5,12	2,23
SD	10-20	1	1,36	0,865	0,063	0,419	0,065	0,085	0,417	0,333	0,031	2,93	1,77
SD	10-20	2	1,14	0,769	0,119	0,409	0,122	0,101	0,406	0,305	0,051	3,36	1,94
SD	10-20	3	1,1	0,774	0,123	0,421	0,123	0,108	0,421	0,313	0,056	4,67	2,11
SD	20-40	1	1,23	0,805	0,096	0,404	0,098	0,107	0,403	0,296	0,044	2,53	1,59
SD	20-40	2	1,08	0,734	0,149	0,405	0,148	0,116	0,407	0,291	0,063	2,72	1,64
SD	20-40	3	1,07	0,742	0,145	0,425	0,147	0,117	0,423	0,306	0,071	3,78	1,51
CN	0-5	1	0,87	0,557	0,278	0,346	0,277	0,106	0,348	0,243	0,099	5,74	0,56
CN	0-5	2	0,88	0,546	0,291	0,339	0,286	0,108	0,344	0,236	0,113	4,84	0,56
CN	0-5	3	0,9	0,573	0,268	0,351	0,264	0,107	0,355	0,248	0,103	5,67	0,56
CN	5-10	1	0,78	0,497	0,326	0,312	0,321	0,102	0,317	0,215	0,125	4,93	0,56
CN	5-10	2	0,85	0,536	0,293	0,327	0,288	0,106	0,333	0,227	0,111	3,86	0,56
CN	5-10	3	0,88	0,539	0,301	0,347	0,299	0,094	0,349	0,255	0,101	5,65	0,56
CN	10-20	1	0,83	0,533	0,291	0,321	0,286	0,093	0,326	0,233	0,107	4,48	1,15
CN	10-20	2	0,87	0,548	0,278	0,335	0,277	0,095	0,336	0,241	0,093	4,45	1,02
CN	10-20	3	0,89	0,584	0,243	0,331	0,239	0,094	0,335	0,241	0,094	4,55	0,56
CN	20-40	1	0,89	0,629	0,218	0,358	0,213	0,119	0,362	0,243	0,101	3,67	1,64
CN	20-40	2	0,89	0,569	0,272	0,345	0,266	0,108	0,351	0,242	0,113	3,79	1,33
CN	20-40	3	0,9	0,601	0,243	0,357	0,240	0,114	0,361	0,247	0,104	3,74	1,19

<sup>(1)</sup>Densidade do solo; <sup>(2)</sup>Capacidade relativa de água, <sup>(3)</sup>Macroporosidade, <sup>(4)</sup>Microporosidade <sup>(5)</sup>capacidade de aeração, <sup>(6)</sup>Capacidade de água disponível, <sup>(7)</sup>Capacidade de campo, <sup>(8)</sup>Ponto de murcha permanente, <sup>(9)</sup>Índice S, <sup>(10)</sup>Matéria orgânica do solo, <sup>(11)</sup>Resistência a penetração. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

**Anexo II - Dados de precipitação mensal e média anual em milímetros (mm) entre os anos de 1995 a 2015. Dados da estação meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas (MG).**

<b>Anos</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média/Ano</b>
<b>1995</b>	94,90	218,40	257,70	57,50	24,60	0,00	0,00	0,00	64,60	105,60	123,70	552,60	1499,60
<b>1996</b>	149,90	231,60	93,60	45,50	34,80	0,20	1,00	13,70	86,10	55,80	484,50	346,20	1542,90
<b>1997</b>	437,00	135,30	182,80	169,10	40,90	40,30	1,10	3,00	41,10	43,50	163,20	387,70	1645,00
<b>1998</b>	339,80	223,20	79,40	34,50	96,60	0,10	0,00	53,40	0,60	82,60	258,90	198,00	1367,10
<b>1999</b>	175,00	75,00	261,40	4,70	2,40	0,30	0,00	0,00	45,90	95,20	245,20	314,10	1219,20
<b>2000</b>	387,00	216,50	151,70	13,20	2,60	0,10	8,90	38,30	60,20	40,60	216,30	282,30	1417,70
<b>2001</b>	105,50	50,60	134,90	19,80	37,40	0,00	0,10	29,70	65,30	130,70	338,50	528,40	1440,90
<b>2002</b>	196,20	247,10	74,80	17,30	11,90	0,00	15,70	0,00	44,00	52,20	199,30	327,70	1186,20
<b>2003</b>	436,20	73,10	133,90	18,80	28,10	0,00	0,00	6,00	28,40	18,50	197,20	255,60	1195,80
<b>2004</b>	379,30	313,00	108,60	104,00	5,00	0,30	46,10	0,00	0,00	32,80	104,10	384,90	1478,10
<b>2005</b>	280,70	148,10	275,20	35,60	26,50	1,10	1,40	8,60	108,20	54,80	293,40	275,00	1508,60
<b>2006</b>	68,60	141,60	316,30	24,50	27,70	2,80	11,80	17,50	38,40	87,00	202,40	375,50	1314,10
<b>2007</b>	389,80	90,20	91,80	119,50	8,50	1,90	6,60	0,00	0,00	65,60	147,30	205,80	1127,00
<b>2008</b>	324,50	108,80	237,60	88,90	0,00	0,10	0,00	15,90	39,40	85,50	169,80	401,10	1471,60
<b>2009</b>	327,70	208,60	174,10	67,70	31,70	1,90	0,00	12,40	54,90	282,10	110,00	364,00	1635,10
<b>2010</b>	153,80	118,20	190,90	55,30	46,20	6,30	0,00	0,00	33,50	106,30	265,00	358,30	1333,80
<b>2011</b>	163,60	69,40	354,60	15,30	0,90	5,40	0,00	0,00	0,00	119,30	264,90	452,90	1446,30
<b>2012</b>	383,40	31,80	203,40	55,30	33,70	14,40	0,00	0,70	7,90	29,10	211,10	96,20	1067,00
<b>2013</b>	159,50	54,40	119,10	71,20	57,00	7,50	0,00	0,00	30,50	57,80	122,90	475,50	1155,40
<b>2014</b>	59,40	0,40	74,00	73,50	0,40	0,60	51,00	0,20	5,20	51,70	130,60	104,20	551,20
<b>2015</b>	221,80	362,50	244,70	53,60	31,60	10,10	2,80	0,00	33,10	125,50	117,70	117,10	1320,50