



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

**ESCARIFICAÇÃO E GESSAGEM NA DESCOMPACTAÇÃO DO
SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO**

LEONARDO RODRIGUES BARROS

Orientador (a):
Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel

Fevereiro - 2017

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Nome completo do autor: Leonardo Rodrigues Barros

Título do trabalho: Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 21 / 03 / 2017

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

LEONARDO RODRIGUES BARROS

**ESCARIFICAÇÃO E GESSAGEM NA DESCOMPACTAÇÃO DO
SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Agronomia da Universidade
Federal de Goiás, como requisito parcial á
obtenção do título de Mestre em Agronomia,
área de concentração: Solo e Água.

Orientador (a):
Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel

Goiânia, GO – Brasil
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rodrigues Barros, Leonardo
ESCARIFICAÇÃO E GESSAGEM NA DESCOMPACTAÇÃO DO
SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO [manuscrito] / Leonardo
Rodrigues Barros. - 2017.
LXII, 62 f.

Orientador: Profa. Dra. Vladia Correchel.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,
2017.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Descompactação. 2. Impedimento mecânico. 3. Sulfato. I.
Correchel, Vladia , orient. II. Título.

CDU 631/635



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e um dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e dezessete (21.02.2017), às 09h00min, no Mini-auditório do PPGA, da Escola de Agronomia da UFG, reuniu-se a Banca Examinadora, composta pelos membros: Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel - Orientadora e Presidente da Banca, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro e Prof^a. Dr^a. Adriana Aparecida Ribon, para a realização da sessão pública da defesa de Dissertação intitulada: "**Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**", de autoria de **Leonardo Rodrigues Barros**, discente do curso de **Mestrado**, na área de concentração em **Solo e Água**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG. A sessão foi aberta pela presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início as atividades relativas à defesa da Dissertação. Passou à palavra ao mestrando que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a exposição, o candidato foi arguido sequencialmente pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* na UFG, a Banca Examinadora considerou a Dissertação "**APROVADA**", com as correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE** em Agronomia, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. O mestrando poderá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar nova versão eletrônica da Dissertação à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da Defesa. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Para finalizar, a Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com o mestrando e encerrou a sessão às 12h10min, para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel
Presidente da Banca - EA/UFG

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Membro - EA/UFG
Prof^a. Dr^a. Adriana Aparecida Ribon
Membro - UFG/Palmeiras de Goiás

Primeiramente a Deus, pois se não fosse sua força, nada seria feito,
Aos meus pais, Filemon Vieira Barros e Sirlene Maria Rodrigues.
...Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por toda graça e proteção que ele tem me proporcionado.

A Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de crescimento profissional.

Agradecimento especial a Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel, orientadora, professora, amiga, um muito obrigado pela dedicação e ajuda nesses dois anos de trabalho, e pelos conhecimentos adquiridos.

Aos meus pais Filemon Vieira Barros e Sirlene Maria Rodrigues, por depositarem, suas esperanças, sonhos e expectativas em mim.

Aos professores da Escola de Agronomia por compartilharem seus conhecimentos, experiências.

A Jéssika Lorrine de Oliveira Sousa, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

A Prof^a. Dr^a. Adriana Aparecida Ribon pelo apoio e incentivo durante a jornada.

Agradecimento a César Henrique Resende, Hamilton César Resende e sua família por ter me alojado e me acolhido tão bem em sua casa durante a condução do experimento, muito obrigado pelo apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de estudo.

Ao secretário da pós-graduação Welinton Barbosa Mota pelo apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, pelos ensinamentos, e auxílio nas análises químicas do presente trabalho.

A todos os servidores da Universidade Federal de Goiás em especial: Zé Luís, Ionice, Nara Rúbia e Carolina, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A Agropecuária RS, pela disponibilidade da área para realização do experimento.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
RESUMO GERAL.....	12
GENERAL ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	16
2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	16
2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	17
2.4 INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	18
2.5 ESCARIFICAÇÃO.....	20
2.6 GESSO.....	21
2.7 GEOESTATÍSTICA.....	22
2.8 REFERÊNCIAS.....	23
3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO ESCARIFICADO.....	27
RESUMO.....	27
ABSTRACT.....	27
3.1 INTRODUÇÃO.....	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.4 CONCLUSÕES.....	36
3.5 REFERÊNCIAS.....	36
4 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB ESCARIFICAÇÃO E GESSAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	40
RESUMO.....	40
ABSTRACT.....	40
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.4 CONCLUSÕES.....	58
4.5 REFERÊNCIAS.....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Estatística descritiva dos dados de resistência do solo a penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug).....	31
Tabela 2.	Valores dos parâmetros do modelo $\ln RP = a_0 + b_0 \cdot \ln U$	32
Tabela 3.	Valores de resistência do solo a penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) do solo por camada.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob plantio direto antes da escarificação (maio/2015), 60 dias depois da escarificação (novembro/2015) e 390 dias depois da escarificação – efeito residual (outubro/2016).....	33
Figura 2.	Precipitação pluviométrica (mm) mensal dos meses de outubro de 2015 a fevereiro de 2016.....	42
Figura 3.	Valores médios da fertilidade do Latossolo Vermelho: A. Matéria Orgânica do solo, B. pH, C. Magnésio (Mg), D. Saturação por bases, E. Cálcio (Ca), F. Potássio (K), G. Capacidade de Troca Catiônica (CTC), H. Acidez potencial (H+Al), I. Fósforo (P), em camadas do solo (m).....	46
Figura 4.	Dinâmica do pH (A), magnésio (B), saturação por bases (C), cálcio (D) e H+Al (E) em razão dos tratamentos.....	48
Figura 5.	Indicadores físicos sob diferentes manejos do solo e profundidade.....	50
Figura 6.	Umidade do solo (g g^{-1}) (A) e Resistência do solo a penetração (MPa) (B) nas camadas de solo (cm).....	52
Figura 7.	Umidade do solo (g g^{-1}) (A) e Resistência do solo a penetração (MPa) (B) em razão dos tratamentos.....	52
Figura 8.	Produtividade estimada da cultura da soja sob diferentes manejos de solo.....	53
Figura 9.	Relação entre a produtividade de grãos de soja e indicadores físicos de um Latossolo Vermelho.....	55
Figura 10.	Distribuição radicular da cultura da soja em sistema de plantio direto sob diferentes manejos (Testemunha, Escarificado, Gesso e Escarificado + Gesso). Dimensão da quadrícula: 0,05 x 0,05 m.....	57

RESUMO GERAL

BARROS, L. R. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.¹

Nas áreas sob sistema plantio direto no Cerrado o processo de compactação vem se tornando cada vez mais frequente, sendo perceptível por alterações nos atributos físicos do solo, no sistema radicular e pela redução na produtividade das culturas. As práticas de escarificação e gessagem são alternativas para reduzir esta compactação. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos e duração da escarificação e da gessagem nos atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja cultivada em sistema plantio direto implantado há quinze anos. O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa foi feito o diagnóstico da compactação do solo em uma área de 315 ha dividida em uma malha amostral com 63 pontos, onde cada ponto representava cinco hectares em Joviânia, GO. Nessa área foram coletadas amostras de umidade gravimétrica e realizadas penetrometrias em cada ponto da malha, nas camadas 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, em três épocas: 1) antes da escarificação; 2) 60 dias após a escarificação do solo; e 3) 390 dias após a escarificação. Com base nos resultados obtidos na primeira etapa, foi selecionado um dos pontos dessa área para realização da segunda etapa do trabalho, que consistiu em instalar 24 parcelas, divididas em seis blocos casualizados, compostos por quatro tratamentos: (T) = Testemunha, (E) = Escarificação, (G) = Gessagem, (G+E) = Gessagem e escarificação, nos quais foram determinadas a fertilidade do solo (MOS, pH, H+Al, P, K, Ca e Mg), umidade gravimétrica e indicadores físicos, em quatro camadas de solo, além da produtividade da soja. Os dados foram analisados por meio da análise de variância e quando significativo aplicou-se o teste de Dunnett para comparação dos tratamentos ao nível de probabilidade de 5% de erro ($p < 0,05$). Os resultados mostram que os benefícios da escarificação foram de curto prazo, pois embora 60 dias após a escarificação tenha sido observada uma redução da resistência a penetração, aos 390 dias após a escarificação estes valores já apresentaram um incremento significativo da resistência a penetração. A escarificação afetou de forma positiva a macroporosidade e a porosidade total na camada 0-0,10 m. A macroporosidade é um indicador físico de grande influência na determinação da produtividade da soja em plantio direto. O uso do gesso agrícola proporcionou um aumento no volume das raízes assim como sistemas radiculares mais profundos.

Palavras-chave: Descompactação, impedimento mecânico, sulfato.

¹ Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel. EA/UFG.

GENERAL ABSTRACT

BARROS, L. R. **Scarification and gypsum application in soil decompaction under no-tillage system**. 2017. 62 f. Dissertation (Master in agronomy: Soil and Water) – School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2017.¹

In areas under no-tillage system in Brazil's Cerrado, compaction is becoming increasingly frequent. It is noticeable because there are changes in soil physical properties and in the root system as well as reduction in crop yields. The practices of scarification and gypsum application are alternatives to mitigate compaction. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effects and length of scarification and gypsum application on soil physical and chemical properties and on soybean yield under a no-tillage system deployed 15 years ago. The study was divided into two steps. The first step consisted of the diagnosis of soil compaction in an area of 315 ha divided into a 63-point sampling grid, where each point represented five hectares in Joviânia, GO. In this area, moisture samples were collected and a penetrometer was used at each point of the mesh, in the 0.0-0.20 m and 0.20-0.40 m layers, in three periods: 1) prior to the scarification; 2) at 60 days after soil scarification; and 3) at 390 days after scarification. Based on the results found in the first step, one of the points of this area was selected to perform the second step of the work, which consisted in setting up 24 plots, divided into six randomized blocks, composed of four treatments: (C) = Control, (S) = Scarification, (G) = Gypsum application, (G+S) = Gypsum application and scarification. The following properties were determined: soil fertility (MOS, pH, H+Al, P, K, Ca and Mg), gravimetric moisture and physical indicators in four soil layers, in addition to soybean yield. The data were submitted to analysis of variance and when they were significant, Dunnett's test was applied for comparison of treatments at the level of probability of 5% of error ($p < 0.05$). These results show that scarification offered short-lasting benefits, because although there was a reduction in resistance to penetration at 60 days after scarification, these values already showed a significant increase in resistance to penetration at 390 days after scarification. Scarification affected macroporosity and total porosity positively in the 0-0,10 m layer. Macroporosity is a physical indicator of great influence in determining soybean yield under a no-tillage system. The use of agricultural gypsum resulted in increased root volume and deeper root systems.

Key words: Decompression, mechanical impediment, sulphate.

¹Adviser: Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel. EA/UFG.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O revolvimento intensivo do solo através do plantio convencional vem afetando os atributos físicos do solo, devido ao manejo realizado de forma incorreta como a passagem de implementos em áreas com umidade inadequada. No sistema plantio direto não se tem esse revolvimento intensivo do solo, o preparo do solo mantém os restos culturais sobre a superfície do solo, minimizando a erosão, e propiciando a formação de palhada o que contribui para melhor retenção de umidade e conseqüentemente, para incrementar o conteúdo de matéria orgânica quando comparado ao sistema de plantio convencional.

Entretanto, a falta de revolvimento do solo no sistema plantio direto associado ao tráfego intensivo de máquinas na área e a maior umidade do solo, podem ocasionar a compactação do solo. No plantio convencional essa compactação ocorre nas camadas mais profundas tendo em vista que neste tipo de preparo de solo ocorre o revolvimento do solo nas camadas superficiais. Isto ocorre devido a pressão exercida pelas máquinas no solo. O manejo mais adequado para o plantio direto é a rotação de culturas, que por meio dos sistemas radiculares de diferentes espécies, auxilia a estruturação, além de propiciar o acúmulo de palhada sobre a superfície do solo.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo e causam a compactação podem ser avaliadas por diferentes indicadores físicos do solo como a densidade do solo, resistência do solo a penetração, macroporosidade, microporosidade e a porosidade total.

Os atributos físicos do solo podem se alterar de forma temporária ou permanente em função do manejo adotado. Este tipo de alteração pode influenciar o desenvolvimento das plantas de forma benéfica ou prejudicial. Um solo com boa qualidade física propicia melhor aproveitamento do solo pelas raízes propiciando um melhor desempenho da cultura. Portanto o monitoramento da qualidade física do solo é de suma importância para alcançar uma boa produtividade.

O uso do gesso agrícola nos solos do Cerrado diminui a atividade do alumínio nas camadas de subsuperfície e, com isso, favorece o crescimento das raízes promovendo

benefícios na absorção de água e nutrientes pelas plantas. Além de promover o maior crescimento e distribuição do sistema radicular, além da possibilidade de aumentar o teor de matéria orgânica no solo e rendimento das culturas.

Pesquisas que revelam a eficiência do uso do gesso e dos escarificadores em sistema plantio direto são necessárias para melhoria da qualidade físico-químicas dos solos da região do Cerrado. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos e duração da escarificação e da gessagem nos atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja cultivada em sistema plantio direto implantado há quinze anos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Com a globalização da economia brasileira, o país passou a fazer parte de um espaço integrado global e bastante competitivo, provocando avanços tecnológicos e novos métodos de produção. Originou também cadeias produtivas integradas globalmente e a questão ambiental passou a ter importância fundamental nos processos de produção, comercialização e consumo. A maior parte das áreas agrícolas do Brasil é suscetível à erosão e de rápida degradação sob as ações do vento, chuva e sol quando cultivadas no sistema convencional. Em algumas regiões do País, é possível cultivar até três culturas por ano, mas quando o cultivo é conduzido no sistema convencional, a base produtiva pode se degradar em poucos anos (Alvim et al., 2004).

Um dos fatores que afetam a base produtiva é a erosão, que causa históricas perdas de solos, com consequentes custos ambientais e econômicos. A expansão do sistema plantio direto no Brasil e os benefícios advindos desta tecnologia tiveram como resultado o retardo do avanço da degradação das áreas agrícolas (Bertol et al., 2007).

A expansão da mecanização na agricultura moderna impõe altas pressões no solo devido ao intenso tráfego de máquinas. Estas cargas estáticas e dinâmicas não só diminuem o volume dos poros do solo, mas também alteram a geometria destes, afetando a microporosidade e a macroporosidade. Estes fatores contribuem para a degradação da qualidade física do solo (Muller et al., 2014).

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto foi introduzido no início da década de setenta na região sul do Brasil. Tinha como objetivo apresentar um método alternativo de preparo de solo para controlar a erosão em áreas submetidas a sucessivos cultivos. Sua implantação nessa região ocorreu ao mesmo tempo na propriedade rural e na pesquisa (Kochhann & Denardin, 2000). Em 2004 já haviam cerca de vinte milhões de hectares, com um terço

localizado na região dos Cerrados e com grande expectativa de que a adoção desse sistema de cultivo se amplie para outras regiões agrícolas do país conforme Machado et al. (2004).

O plantio direto é um sistema de manejo em que a semeadura das culturas é feita sem o revolvimento do solo, mantendo os restos culturais dos cultivos anteriores na superfície, minimizando os efeitos da erosão e mantendo o conteúdo de matéria orgânica. Quando utilizado de forma correta, esse sistema de manejo é eficaz na proteção da superfície do solo (Gennaro, 2011).

É uma tecnologia eficiente no controle das perdas de solo e água, portanto juntamente com outros benefícios que o sistema oferece, tem sido adotado por um número de produtores cada vez maior. No entanto, apesar das inúmeras vantagens, alguns fatores têm causado frustrações com a adoção dessa tecnologia, levando ao retorno do sistema de plantio convencional (Tormena et al., 1998).

Geralmente o plantio direto apresenta na camada superficial, após três ou quatro anos, maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade e porosidade total, devido ao tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo. Porém, com o tempo, há um acréscimo da matéria orgânica na superfície do solo nesse sistema de manejo, podendo resultar em uma redução da densidade do solo e um aumento no volume de poros. Consequentemente, o tempo de adoção do plantio direto vai definir a qualidade do solo, bem como as melhorias nos seus atributos físicos (Gennaro, 2011).

No entanto, deve-se atentar que a rotação de culturas é um requisito fundamental para o sucesso deste sistema. Portanto, o tipo e a frequência das espécies contempladas no planejamento do sistema de rotação de culturas devem atender tanto aos aspectos técnicos, que objetivam a conservação do solo, quanto aos aspectos econômicos e comerciais (Kochhann & Denardin, 2000).

A adoção do sistema plantio direto gera também a mobilização dos nutrientes no solo e aumenta a variabilidade espacial dos seus atributos químicos. Em função da irregularidade de distribuição de nutrientes na superfície do solo, a rotação de culturas é uma condição básica para o sucesso e continuidade do sistema plantio direto. Culturas com diferentes espaçamentos são implantadas numa mesma área, e as linhas de adubação geralmente não coincidem, o que contribui para a uniformização da distribuição de fertilizantes no solo (Schlindwein & Anghinoni, 2000).

2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A entrada dos sistemas agrícolas em substituição das florestas provocou a retirada da cobertura vegetal original para implantação de culturas, o que gerou um desequilíbrio no ecossistema. Esse fato aliado a adoção de práticas inadequadas de manejo, promoveu o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas características físicas e químicas (Richart et al., 2005).

O termo compactação do solo refere-se a processos mecânicos, induzidos pela ação antrópica, os quais modificam a estrutura do solo e alteram seus comportamentos físico, hídrico e mecânico. Trata-se, portanto, de uma alteração física induzida, com consequências sobre o comportamento da água e do ar no solo, o que afeta o desenvolvimento das raízes das plantas (Kertzman, 1996).

O processo de compactação pode ocorrer de várias formas, sendo intensificado pelo tráfego de máquinas de peso cada vez mais elevado. Este aumento de peso das máquinas não foi proporcionalmente distribuído no tamanho e largura dos pneus, acarretando um aumento de pressão sobre o solo e modificando sua estrutura física (Richart et al., 2005).

A gota de chuva é considerada uma fonte natural de compactação (Richart et al., 2005). Em solos expostos, quando ocorre uma precipitação intensa, a superfície do solo recebe a maior parte da energia cinética das gotas de chuva, resultando na quebra dos agregados e dando início ao processo de erosão. A desagregação do solo promove o carregamento de agregados e partículas menores em suspensão na água, que penetram e obstruem os poros causando o selamento superficial e, conseqüentemente, diminuem a taxa de infiltração de água no solo (Schaefer et al., 2002).

O problema de compactação do solo vem aparecendo sistematicamente na região do Cerrado. Têm sido relatadas ocorrências de aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade com o uso do sistema plantio direto. Este processo, diagnosticado como compactação devido ao fato de, supostamente, prejudicar o crescimento das raízes e o movimento vertical de água, faz com que se tenha um manejo de revolvimento do solo, desfazendo o trabalho biológico e físico de vários anos (Stone et al., 2002).

2.4 INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Os principais indicadores físicos de qualidade de solo são: textura, estrutura,

resistência do solo à penetração, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, índice de estabilidade de agregados, dentre outros.

A textura é uma das características mais estáveis, e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais (diâmetro menor que 2 mm) de um solo. Pode ser determinada de duas maneiras: em campo, onde se procura correlacionar a sensibilidade do tato com a natureza e tamanho das partículas unitárias do solo (a areia produz sensação de aspereza, o silte é sedoso ao tato, e a argila é plástica e pegajosa quando úmida, e dura quando seca), ou se determinar em laboratório, pelo método da pipeta ou do densímetro de Boyoucos (Ferreira et al., 2010).

A estrutura do solo corresponde a geometria do espaço poroso formado entre os agregados do solo, resultante das forças de coesão entre as partículas minerais e orgânicas, e também da ação química e física, dos macro e microorganismos, plantas e animais. A relação da estrutura com a dinâmica da água no solo e o crescimento vegetal se reflete na resistência do solo à compactação, no arrançamento do espaço poroso, na infiltração e armazenamento de água, na resistência a erosão, na atividade biológica do solo e na eficácia dos corretivos da fertilidade do solo e aproveitamento dos fertilizantes pelas plantas (Capeche, 2008).

A resistência do solo a penetração é um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo, pois exerce elevada influência sobre o desenvolvimento das plantas. Uma vez que o crescimento das raízes e a produtividade das culturas variam de forma inversamente proporcional ao seu valor (Freddi et al., 2006).

Para o monitoramento da compactação do solo, o penetrômetro é um instrumento bastante utilizado, porém os resultados obtidos por meio dele devem ser inseridos em um contexto maior de avaliação da compactação, contemplando, além do uso correto do equipamento, o histórico do manejo da área, textura do solo, densidade global e umidade do solo (Torres & Saraiva, 1999).

A densidade do solo expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo. No volume do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Contudo, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da densidade do solo. A densidade do solo é utilizada como indicador da compactação e também de alterações na estrutura e porosidade do solo (Reinert & Reichert, 2006).

A densidade de partículas é relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólidos do solo; assim, não inclui a porosidade do solo e não

varia com o manejo do solo. Depende primariamente da composição química e mineralógica do solo (Reinert & Reichert, 2006).

A porosidade do solo é caracterizada por 2 classes de tamanho de poros a macroporosidade e microporosidade. Os microporos estão relacionados com a retenção e armazenamento de água pelo solo, já os macroporos são responsáveis pela aeração, infiltração e drenagem do solo (Ferreira et al., 2010). Para Latossolo Vermelho, Tormena et al. (2002) relatam que o uso de escarificadores proporcionam maiores valores de macroporosidade e porosidade total, em detrimento da microporosidade.

2.5 ESCARIFICAÇÃO

O uso de implementos de hastes como os escarificadores para descompactação do solo produz superfícies mais rugosas no mesmo, e seu objetivo é aumentar a porosidade, reduzir a densidade do solo e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (Kochhann & Denardin, 2000). Outra solução é o uso de plantas com sistema radicular profundo e agressivo capaz de crescer em camadas de solo compactado (Abreu et al., 2004).

Embora recomendada frequentemente pelos técnicos, o processo de escarificação é de elevada demanda de potência de maquinário, alto consumo de combustível e de tempo, portanto deve ser aplicada somente onde a compactação foi diagnosticada (Girardello et al., 2011). Nesse contexto, a escarificação destaca-se como uma boa alternativa, desde que recomendada após um diagnóstico confirmando as áreas compactadas.

De acordo com trabalhos realizados por Abreu et al. (2004), ocorreu uma maior resistência do solo a penetração nos tratamentos sem preparo do solo, enquanto que nos tratamentos com solo escarificado a resistência do solo a penetração e a densidade do solo foram menores.

A escarificação esporádica do solo tem sido eficiente em reduzir os efeitos imediatos da compactação (Reichert et al., 2009). Várias pesquisas têm sido realizadas com a escarificação mecânica para avaliar seus efeitos sobre a compactação e sua longevidade. Girardello et al. (2014) avaliaram a eficiência de escarificadores mecânicos na redução da resistência do solo a penetração e encontraram redução nos valores. Drescher et al. (2016), avaliando o tempo de duração escarificação mecânica, em sistema

plantio direto observaram menor resistência do solo a penetração até 18 meses após a escarificação. Secco & Reinert (1997) concluíram que a escarificação têm um efeito residual de até 10 meses após a operação.

Perante esses resultados, verifica-se a necessidade de mais pesquisas, em campo, quanto ao nível e, ou, estado de compactação que alteram o rendimento das culturas, bem como determinar a época e as práticas para realizar intervenções mecânicas na tentativa de amenizar os efeitos da compactação (Mazurana et al., 2011).

2.6 GESSO

Os solos do Cerrado geralmente apresentam problemas de acidez subsuperficial, e às vezes não é viável a incorporação profunda de calcário. Assim, camadas mais profundas do solo, podem continuar com excesso de alumínio tóxico, associado ou não a deficiência de cálcio. Portanto, diante desta situação as raízes da maioria das culturas se desenvolvem apenas na camada superficial (Costa et al., 2007).

A aplicação de gesso agrícola seria uma opção viável para diminuir a saturação do alumínio nessas camadas mais profundas, e com esta aplicação criam-se condições para o sistema radicular das plantas se aprofundarem no solo. Conforme descrito por Costa et al. (2007), com um sistema radicular mais profundo a planta consegue minimizar efeitos de veranicos que são frequentes, em especial no Cerrado. O gesso é aplicado na camada superficial do solo, e logo após sua dissolução irá fixa-se abaixo, devido a sua alta mobilidade nos primeiros centímetros do solo. Com isso ocorre a lixiviação do cálcio no perfil do solo contribuindo para o aprofundamento das raízes das plantas (Sousa et al., 2007).

De modo simples, as reações do gesso agrícola que ocorrem no subsolo, melhorando o ambiente radicular, são a dissociação do CaSO_4^0 lixiviado em profundidade; troca iônica entre o Ca^{++} do gesso e o Al^{+++} adsorvido à fração argila; complexação do Al^{3+} pelo SO_4^{2-} . Constatase que o gesso agrícola melhora o ambiente radicular, pois promove o aumento do teor de cálcio em profundidade, diminui a saturação por alumínio e diminui a absorção de Al pelas raízes, devido à formação do par iônico AlSO_4^+ , que não é tóxico as plantas (Vitti & Priori, 2009). O Al também pode ser precipitado na forma de oxihidróxido (Sousa et al., 2007).

O uso do gesso agrícola apresenta benefícios tais como o fornecimento de enxofre a planta, sendo este um elemento essencial para o seu desenvolvimento (Costa, 2006). A ausência de revolvimento no plantio direto pode apresentar impedimentos físicos e químicos para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Dessa forma, a aplicação do gesso agrícola é uma possibilidade de melhoria do ambiente radicular em profundidade no solo (Neis et al., 2010).

O uso do gesso pode melhorar a estrutura do solo favorecendo a agregação. Este processo ocorre através do cálcio fornecido pelo gesso que é atraído pela argila e matéria orgânica do solo (MOS) formando as pontes de cátions, a MOS geralmente ocorre recobrindo os grãos de argila (Chan & Heenan, 1999). Quanto mais cátions ligados a ela e quanto mais ela estiver recobrindo a argila menos sítios ativos disponíveis o que reduz a decomposição da MOS, conseqüentemente pode favorecer o aumento do teor de MOS no solo.

2.7 GEOESTATÍSTICA

De acordo com Yamamoto & Landim (2013), o estudo geoestatístico começa com um conjunto de observações que constituem uma amostra. Para inferir as propriedades do fenômeno espacial em estudo são usadas as observações amostradas, que podem ser qualitativas ou quantitativas. É um ramo da Estatística Espacial que usa o conceito de funções aleatórias para incorporar a dependência espacial aos modelos para variáveis georreferenciadas. Diante das possibilidades, é possível induzir e fazer previsões a partir de amostras extraídas. O fenômeno espacial desconhecido é a população da qual foi coletada a amostra.

O objetivo da análise geoestatística é a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio do estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais, com determinação das incertezas associadas. A reprodução das características do fenômeno espacial baseado em pontos amostrais é denominado interpolação ou estimativa, é realizada através de ajustes de funções matemáticas locais ou globais (Yamamoto & Landim, 2013)

A geoestatística permite a interpretação dos resultados com base na composição da variabilidade natural dos atributos avaliados, atendendo a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. Afim de estimar o comportamento das plantas ao manejo e

reduzir os efeitos da variabilidade espacial sobre a produtividade, a geoestatística pode indicar alternativas de manejos diferentes para melhorar a produção agrícola. É importante analisar a distribuição espacial dos valores de resistência do solo a penetração, pois a ação do sistema de manejo do solo e o sistema de tráfego não são uniformes em toda a área (Silva et al., 2004). O estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo pode melhorar o controle dos fatores de produção das culturas (Souza et al., 2009; Cavalcante et al., 2007).

2.8 REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ALVIM, M. I. S. A.; VALE, S. M. L. R.; LIMA, J. E.; SILVA, O. M. Análise da competitividade da produção de soja nos sistemas de plantio direto e plantio convencional na região do cerrado brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 2, p. 223-242, 2004.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.
- CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 6 p. (Comunicado Técnico)
- COSTA, M. I. **Manejo de solo e efeito residual da gessagem sobre atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico e no desenvolvimento da soja**. 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Campus Dourados, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2006.
- COSTA, M. J.; JUNIOR, E. J. R.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.
- CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 6, p. 1841-1844, 1999.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Q. de (Ed.), **Física do solo**. 1. ed. Viçosa, 2010. p. 01-27.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

GENNARO, L. A. **Estrutura, micromorfologia e microbiologia do solo em dois sistemas de manejo**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocados pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia Física)–Faculdade de filosofia, letras e ciências humanas do departamento da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 202 p.

MAZURANA, M., LEVIEN, R., MULLER, J., & CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MULLER, R.; FEIDEN, A.; GERKE, L. V.; MARI, A. G.; LUCIO, L. T.; Atributos associados ao grau de compactação do solo e sua correlação com a produção agrícola. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 3, p. 131-137, 2014.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18 p.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.
SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H., DE BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, 2007. p. 205-274.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana de açúcar. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2009.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em um Argissolo Vermelho amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I.; Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 85-91, 2000.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

TORMENA, C. A.; ROLLOF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).

VITTI, G.C.; PRIORI, J.C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 9, p. 30-34, 2009.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. Oficina de Textos. São Paulo. 2013. Cap. 1, p. 23-34.

3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO ESCARIFICADO

RESUMO

A compactação do solo é uma consequência do intenso uso agrícola que gera preocupação em torno de como a recuperação do solo pode ser feita para que o solo retome sua qualidade. O manejo inadequado do solo altera suas propriedades físicas modificando o comportamento da água e do ar no meio prejudicando o crescimento das plantas. O objetivo deste estudo foi caracterizar a distribuição espacial e temporal da resistência do solo à penetração (RP) antes e meses após a escarificação de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em sistema plantio direto em Joviânia, GO. A área de estudo foi dividida em uma malha amostral com 63 pontos representando cinco hectares cada. As amostras foram coletadas em cada ponto, de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, em três épocas caracterizando os tratamentos: 1) antes da escarificação; 2) 60 dias após a escarificação do solo; e 3) 390 dias após a escarificação, para avaliar o efeito residual da escarificação. Foram gerados mapas com base nos dados de RP ajustados a umidade gravimétrica, através do software geoestatístico ArcMap 10.2.2, usando a interpolação de pontos pela ponderação do inverso da distância (IDW). A análise estatística descritiva e a variância dos dados foram analisadas com o software SAS Institute, bem como para a comparação de médias, pelo teste de Tukey, e para obtenção dos coeficientes das regressões entre a RP e a umidade gravimétrica. Observou-se que 60 dias após a escarificação os valores médios de RP decresceram 57%. Porém sem nenhuma outra intervenção para manutenção, seu efeito não persistiu, tornando a ser observado um aumento da RP 390 dias após a escarificação. Essa prática mecânica não é eficiente a médio e longo prazo, indicando a necessidade de associação com plantas de cobertura para manutenção de seu efeito por mais tempo.

Palavras-chave: manejo do solo; física do solo; qualidade do solo.

ABSTRACT

Soil compaction is a consequence of intense agricultural use, and it causes concern about how soil can be recovered so that it can regain quality. Improper soil management changes the physical properties of soil by modifying the behavior of water and air in the environment, thus hindering plant growth. The objective of the present study was to characterize the spatial and temporal distribution of soil resistance to penetration (RP) before and after scarification of an Oxisol cultivated under a no-tillage system in Joviânia, GO. The study area was divided into a 63-point sampling grid which represented five hectares each. The samples were collected at each point, in the 0.0-0.20 m and 0.20-0.40 m layers, in three periods that characterized the treatments: 1) prior to the scarification; 2) at 60 days after soil scarification; and 3) within 390 days after scarification, in order to evaluate the residual effect of scarification. The maps were designed on the basis of data on RP fitted to data on moisture, through the geostatistical

software ArcMap 10.2.2, using point interpolation by means of inverse distance weighting (IDW). The software SAS Institute was used for descriptive statistical analysis and analysis of variance, as well as for a comparison of averages, with Tukey's test, and to calculate the coefficients of regressions between the RP and soil moisture. It was found that the mean values of RP decreased by 57% at 60 days after scarification. However, such effect did not persist without any other intervention to keep the decrease, hence there was an increase in RP at 390 days after scarification. Thus, this mechanical practice is not efficient in the medium and long term; thus, it needs to be associated with cover crops to maintain its effect for a longer period of time.

Key words: Soil management; soil physics; soil quality.

3.1 INTRODUÇÃO

A entrada dos sistemas agrícolas em substituição das florestas provocou a retirada da cobertura vegetal original, o que gerou um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades físicas e químicas dos solos (Richart et al., 2005).

O termo compactação do solo refere-se a processos mecânicos, induzidos pela ação antrópica, que modificam a estrutura do solo e alteram seu comportamento físico, hídrico e mecânico. Trata-se, portanto, de uma alteração física induzida, com consequências sobre o comportamento da água e do ar no solo o que afeta o desenvolvimento das raízes das plantas (Kertzman, 1996).

A resistência do solo a penetração (RP) é um atributo físico muito utilizado como indicativo da compactação (Rosa Filho et al., 2009), pois esta relacionada com outros atributos do solo, como a densidade do solo, porosidade e o conteúdo de água no solo (Ribon & Tavares Filho, 2008).

A interpretação da RP depende de uma série de fatores, mas, em geral, para Latossolos Vermelho cultivados com soja/milho sob plantio direto, na literatura observam-se valores críticos variando entre 2,0 MPa (Tormena et al., 1998) a 2,6 MPa (Secco et al., 2004) ou mesmo acima de 3,5 MPa (Torres & Saraiva, 1999). Valores acima desses foram considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas ou comprometeram a produção.

As operações de escarificação em áreas de plantio direto estão sendo recomendadas nos últimos anos visando reduzir a compactação dos solos (Abreu et al., 2004; Bellé et al., 2014). Estudos mostram efeitos positivos da escarificação em Latossolos Vermelhos (Girardello et al., 2014), porém de modo temporário (Secco & Reinert, 1997; Drescher et al., 2016).

A produtividade das culturas além de ser influenciada pela variação temporal da RP, também pode ser influenciada pela variação espacial da RP (Tavares et al., 2014; Rodrigues, 2014; Campos et al., 2012) e da umidade do solo.

O objetivo deste estudo foi caracterizar a distribuição espacial e temporal da RP antes e meses após a escarificação de um Latossolo Vermelho cultivado em sistema plantio direto em Joviânia, GO.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma área comercial da Fazenda Santa Bárbara localizada no município de Joviânia – GO entre as coordenadas 17° 53' 42.93" S e 49° 37' 45.20" O , com altitude média local de 780 m e pluviosidade média anual de 1435 mm. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (Embrapa, 2013), com granulometria de 250 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 710 g kg⁻¹ de areia (classe textural média).

A área comercial vem sendo utilizada em sistema plantio direto há 15 anos, sendo cultivada com soja e milho durante a safra, e na época do pousio, ora é cultivada com milheto, ora é mantida apenas com a palhada do milho. Essa área, que possui 315 hectares, foi dividida em uma malha amostral formada por 63 pontos, onde cada ponto representa cinco hectares (200 x 250 m).

A coleta de amostras de solo e penetrometrias foram realizadas em campo em três épocas distintas para caracterização dos tratamentos: 1) antes da escarificação – amostragem feita em 20 maio de 2015, quando a área estava cultivada com milheto; 2) 60 dias após a escarificação do solo, em 24 de novembro de 2015 quando se encontrava cultivada com soja, e 3) decorridos 390 dias após a escarificação, sendo a amostragem feita em 12 de outubro de 2016, estando a área em pousio com o solo recoberto por palhada de milho, para avaliar o efeito residual da escarificação, que foi realizada em 12 de setembro de 2015, utilizando um escarificador da marca Tatu, modelo EST/MATIC 300.

Em cada ponto foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, com trado tipo holandês, para análise da umidade gravimétrica do solo conforme Embrapa (1997), e realizadas penetrometrias, nas camadas nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, com um penetrômetro modelo IAA/PLANALSUCAR (Stolf et al., 1983). Os

valores das penetrometrias obtidos em campo foram convertidos para MPa conforme descrito em Stolf (1991).

As classes de interpretação de valores de RP estabelecidas no Soil Survey Staff (1993) e descritas em Arshad et al. (1996) foram utilizadas no presente trabalho e são descritas a seguir: extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

Para apresentar a distribuição espacial dos valores de RP obtidos em cada período de avaliação, foram elaborados mapas gerados a partir dos dados de RP e de umidade gravimétrica (Ug) ajustados, utilizando-se um dos modelos propostos por Busscher et al. (1997). Esse ajuste se faz necessário pois a relação entre a RP e U é exponencial. Assim, pequenos incrementos de U resultam em grandes incrementos de RP. O modelo $\ln RP = \ln(a) + b(\ln U)$ foi usado no programa SAS Institute para obtenção dos coeficientes. Para construção do modelo, para cada dado de RP coletado em campo, também foi coletada uma amostra de (Ug), visando máxima fidelidade da relação, conforme sugerido por Vaz et al. (2002).

Depois dos dados de RP estarem ajustados, foram elaborados seis mapas para as camadas: 0-0,20 m e 0,20-0,40 m usando o programa Arc Map 10.2.2. Os dados de RP foram transferidos para o software e foi estabelecido o limite geográfico para geração dos resultados que são mostrados como uma raster bidimensional. Primeiramente para definir o limite da área a ser processada foi utilizado a ferramenta “Environments” no menu “Geoprocessing” e escolhido o shape que determina o limite da área. Definido o limite, no menu “ArcToolbox” seleciona a caixa de ferramentas “Spatial Analyst Tools” → “Interpolation” → “IDW”, essa é a ferramenta usada para geração da interpolação dos pontos. Escolhido na tabela de atributos o campo a ser usado para a interpolação dos pontos o raster é gerado. Nas propriedades da camada raster, através do menu “Symbolology” → “Classified” foi configurado o número de três classes para elaboração dos mapas.

O programa SAS Institute foi utilizado para analisar a estatística descritiva e a variância dos dados, para comparação das médias (teste Tukey) e para obtenção dos coeficientes das regressões entre a RP e a U.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos dados (Tabela 1) indica que antes da escarificação o valor médio da RP era superior ao obtido 60 dias após a escarificação porém, após 390 dias da intervenção mecânica, esse valor médio tornou a aumentar em profundidade.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de resistência do solo a penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug). N= 378

Estatística descritiva	Tempo após escarificação, dias					
	RP, MPa			U, g.g		
	0 ⁽¹⁾	60	390	0 ⁽¹⁾	60	390
Média	4,40	2,51	3,07	0,11	0,15	0,13
Desvio-Padrão	1,28	1,09	0,87	0,03	0,03	0,03
Variância	1,65	1,2	0,76	0,001	0,001	0,001
Mínimo	2,87	1,39	2,19	0,05	0,08	0,07
Máximo	7,01	3,91	5,02	0,21	0,25	0,21
CV ⁽²⁾ (%)	29,17	43,61	28,55	29,15	24,51	24,38
Curtose (k)	-1,48	-1,99	-1,34	-0,61	-0,62	-0,71

⁽¹⁾Dias após a escarificação = 0 (amostragem do solo: em maio/2015;), 60 (amostragem: novembro/2015) e, 390 dias (amostragem: outubro/2016). ⁽²⁾CV: coeficiente de variação.

Os valores de RP e U foram submetidos a uma análise de regressão para obtenção dos coeficientes de ajuste, apresentados na Tabela 2 e com os quais foram gerados os mapas apresentados na figura 1.

Os valores médios de umidade do solo variaram entre os períodos de avaliação (Tabela 1). Em um Latossolo Vermelho Distrófico, Girardello et al. (2014) avaliaram a eficiência de escarificadores mecânicos na redução da RP e no incremento da produtividade de grãos de soja, e concluíram que a escarificação mecânica reduziu em 27 % o valor médio de RP. Neste trabalho, foi obtida uma redução de, aproximadamente, 57 % no valor médio da RP, 60 dias após a escarificação do solo.

De acordo com a classificação de Arshad et al. (1996), o valor médio da RP do solo antes da escarificação, é classificado como muito alto, mas 60 dias após escarificação este valor foi reduzido, passando a ser classificado como alto (= 2,51 MPa). Marasca et al. (2011), analisando a RP de um Latossolo Vermelho Distroférrico cultivado em plantio direto há 13 anos, encontraram valores médios de RP variando de 2,9 MPa a 4,2 MPa com teores de U entre 0,13 e 0,25 g g⁻¹ na camada de 0-0,20 m, e atribuem esses resultados ao tráfego excessivo de máquinas durante os anos decorridos de exploração da área.

Tabela 2. Valores dos parâmetros do modelo $\ln RP = \ln a_0 + b_0 \cdot \ln U$

Camada, m	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Valor de T	P > T
Antes da escarificação					
0,00 – 0,20	a ₀	1,5026	0,3508	4,28	<0,0001
	b ₀	0,1527	0,1571	0,97	0,3349
0,20 – 0,40	a ₀	0,8631	0,4057	2,13	0,0374
	b ₀	-0,3889	0,1832	-2,12	0,0379
60 dias após a escarificação					
0,00 – 0,20	a ₀	0,4404	0,3202	1,38	0,1741
	b ₀	0,0463	0,1728	0,27	0,7897
0,20 – 0,40	a ₀	1,6131	0,3964	4,07	0,0001
	b ₀	0,1755	0,2075	0,85	0,4009
390 dias após a escarificação					
0,00 – 0,20	a ₀	0,6666	0,3863	1,73	0,0895
	b ₀	-0,0756	0,1914	-0,39	0,6943
0,20 – 0,40	a ₀	0,3347	0,3254	1,03	0,3077
	b ₀	-0,4959	0,1583	-3,13	0,0027

RP = Resistência do solo a penetração, MPa; U = conteúdo gravimétrico de água (g g⁻¹); n=63

A Figura 1 mostra a distribuição dos valores de RP nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Pode-se observar que antes da escarificação houve um predomínio de valores compreendidos entre 2,87 a 7,0 MPa, indicando que mesmo o solo sendo cultivado em plantio direto, apresenta valores considerados altos ou muito altos, refletindo um manejo inadequado do solo ou das culturas. Conforme os resultados obtidos (Tabela 1), a umidade do solo pode ser um dos fatores que estejam contribuindo com essa situação. A mecanização do solo em uma faixa de umidade acima da ideal para esse solo pode resultar em compactação nas áreas de produção agrícola (Bottega, 2011).

Após a escarificação, o solo apresentou valores de RP entre 1,39 a 1,45 MPa na camada 0-0,20 m e de 3,25 a 3,90 MPa na camada 0,20-0,40 m. Na camada superficial, onde foram encontrados os menores valores, se observa menor variação dos dados (Figura 1). Na camada 0,20-0,40 m, o manejo com o escarificador ofereceu menor influência na RP, pois em todos os tratamentos foram observados valores elevados de RP, com variação de 3,01 a 7,0 MPa.

Nas avaliações realizadas depois da escarificação os valores de RP na camada de 0-0,20 m variam de 1,39 a 2,37 MPa. Girardello et al. (2014) avaliando um Latossolo Vermelho distrófico, na umidade do solo de 0,14 g g⁻¹, com a cultura da soja encontraram o valor crítico de RP de 3,0 MPa, pois a partir desse valor houve um decréscimo de 10 % na

produtividade da soja, e a partir de 5 MPa, houve uma redução de 38% da produtividade da oleaginosa.

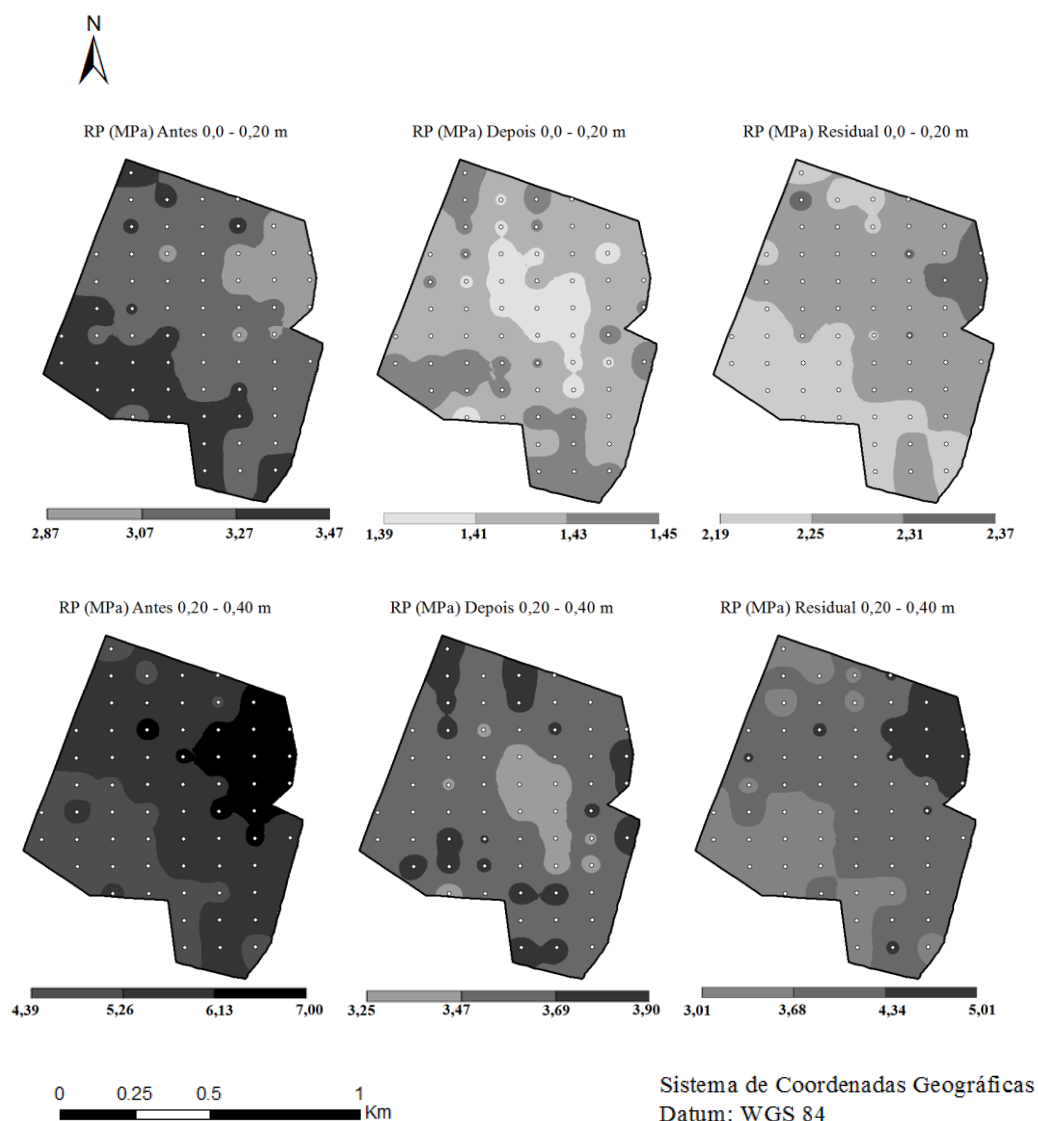


Figura 1. Resistência do solo a penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto antes da escarificação (maio/2015), 60 dias depois da escarificação (novembro/2015) e 390 dias depois da escarificação – efeito residual (outubro/2016).

Na Figura 1 nota-se uma redução significativa de valores entre as avaliações antes e depois de escarificar a camada 0-0,20 m. Klein et al. (2009) trabalhando com Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado, observaram que a escarificação reduziu significativamente a RP.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de RP para cada camada e tratamento (antes de escarificar, 60 dias e 390 dias depois de escarificar). Nessa Tabela pode-se observar que o comportamento da RP se diferenciou de modo significativo entre camadas e tratamentos.

Tabela 3. Valores de resistência do solo a penetração (RP) e umidade gravimétrica (Ug) por camada.

Tratamentos		Camada (m)	
		0-0,20	0,20-0,40
Antes	RP (MPa)	3,20 Ba	5,60 Aa
	U (%)	11,60 Ac	11,40 Ac
60 DAE	RP (MPa)	1,42 Bc	3,60 Ac
	U (%)	16,40 Aa	15,40 Aa
390 DAE	RP (MPa)	2,26 Bb	3,87 Ab
	U (%)	13,90 Ab	13,40 Ab

DAE = Dias após a escarificação. Valores seguidos da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem valor médio da variável entre camadas e os seguidos de mesma letra minúscula nas colunas não diferem o valor médio da variável entre tratamentos para cada camada, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Antes da escarificação, a região de maior RP esteve presente na camada 0,20-0,40 m. Segundo Torres & Saraiva (1999), valores de RP acima de 3,5 MPa indicam que o solo está com possíveis problemas de impedimento mecânico. Depois da escarificação houve uma redução significativa nos valores de RP: o valor médio de RP na camada 0-0,20 m era 3,20 MPa e, após a passagem do implemento o valor médio de RP diminuiu para 1,42 MPa, demonstrando a eficiência do uso do equipamento como descompactador do solo. Girardello et al. (2014) trabalhando com escarificação mecânica, também observaram um decréscimo do valor médio de RP após a escarificação.

No presente trabalho, decorridos 13 meses da passagem do implemento na camada 0-0,20m, observa-se um efeito residual da escarificação quando comparado ao solo antes da escarificação. Entretanto, esse efeito desaparece quando comparado ao solo logo após a escarificação, pois apenas um ano após realizada a escarificação o valor médio de RP aumentou significativamente, tanto na camada superficial quanto sub-superficial. Esses resultados podem estar associados ao fato de nenhuma alteração de manejo do solo e das plantas ter sido realizado na área. Além do proprietário ter mantido o mesmo esquema de rotação de culturas (soja/milho), não realizou o plantio de plantas de cobertura na área.

Conforme Drescher et al. (2016) que avaliaram a persistência do efeito da descompactação em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto pela escarificação mecânica, a RP apresentou uma redução apenas até 18 meses após a escarificação. Para um Latossolo Vermelho de textura argilosa, Secco & Reinert (1997)

concluíram que a escarificação apresentou um efeito residual até 10 meses após a escarificação.

O efeito residual da escarificação em solos sob plantio direto pode proporcionar menor resistência do solo a penetração somente quando comparado com o antes, pois não persiste com o tempo de uso do solo. No presente trabalho aos 390 dias o valor médio de RP já apresentou um incremento significativo em relação ao período de 60 dias após a escarificação. Tormena et al. (1998) estudando um Latossolo muito argiloso, cultivado em sistema plantio direto, observaram que o valor de 2,0 MPa tem sido aceito como limitante ao desenvolvimento radicular das diferentes espécies de plantas. O valor que se enquadra abaixo dessa classe no presente trabalho é o tratamento depois da escarificação onde tem-se o valor na camada de 0-0,20 m de 1,42 MPa, ressaltando que o solo estudado possui textura média. Em geral, a textura do solo influencia a RP, pois quanto mais argila no solo, maior a RP, para uma mesma densidade (Rosolem et al., 1999).

De acordo com os resultados obtidos por Cherubin et al. (2011), uma estratégia para evitar o aumento da compactação do solo em sistema plantio direto, em especial na camada 0,20-0,40 m, é cultivar plantas recuperadoras do solo, introduzindo espécies que apresentem grande produção de fitomassa e sistema radicular profundo dentro de um plano de rotação de culturas na área, para possibilitar melhorias na estrutura do solo no perfil.

O coeficiente de variação (CV) dos dados antes da escarificação do solo, na camada 0-0,20m foi de 4,42%, sendo reduzido a 1,2% após a escarificação, mostrando maior uniformidade da RP na área após o uso do escarificador. O mesmo comportamento foi observado para na camada 0,20-0,40 m. O CV antes da escarificação era de 11,22%, sendo reduzido para 4,17% após a escarificação. Em geral, a RP e U segundo os critérios de interpretação propostos em Warrick & Nielsen (1980), se enquadram na classe de baixa variabilidade, pois apresentam valores de CV inferiores a 12%.

O maior valor médio de U foi encontrado na camada 0-0,20 m depois da escarificação, e o menor obtido antes da escarificação na camada 0,20-0,40 m. O teor médio de U variou de modo significativo com o período de avaliação. Considerando-se que a RP é dependente das condições de umidade do solo, para se comparar os valores de RP obtidos nos diferentes tratamentos, faz-se necessário ajustar tais valores em função da umidade solo (Vaz et al., 2002).

O interessante de se avaliar a distribuição espacial da RP em uma dada área está relacionado ao fato de que as tomadas de decisão em uma propriedade, em geral, tem como base apenas um valor médio. Mas ao se analisar a distribuição dos valores de RP na área, essa tomada de decisão pode ser realizada de modo localizado, minimizando custos operacionais (que envolvem máquinas, combustível e mão de obra).

3.4 CONCLUSÕES

O sistema plantio direto apresenta menor resistência do solo à penetração na camada 0–0,20 m 60 dias após a escarificação, porém esta prática mecânica não amenizou a compactação na camada 0,20 – 0,40 m.

A escarificação do solo não é uma operação mecânica eficiente a médio ou longo prazo, pois 390 dias após a escarificação a resistência mecânica do Latossolo Vermelho eutrófico já apresentava um incremento significativo em relação ao efeito observado 60 dias após a escarificação.

Antes da escarificação, o valor médio de RP na camada 0-0,20 m variou de 2,87 a 7,01 MPa, valores classificados como de alta e muito alta RP, respectivamente. No entanto, considerando-se apenas o valor médio (=3,20 MPa), não se detecta necessidade de fazer uma subsolagem ou mesmo escarificação na área, mas ao se observar a distribuição dos valores de RP, verifica-se a necessidade de se efetuar a adoção de práticas mitigadoras em certas regiões da área.

3.5 REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p. 123-141, 1996.

BELLÉ, M. P.; ALONÇO, A. D. S.; FRANCETTO, T. R.; ROSSATO, F. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 551-558, 2014.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M. ; SOUZA, CRISTIANO M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 205-217, 1997.

CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E. de; OLIVEIRA, I.A. de; BERGAMIM, A.C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco v. 8, n. 2, p. 305-310, 2012.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto-Setembro/Outubro**, p. 5, 2011.

DRESCHER, M. S., REINERT, D. J., DENARDIN, J. E., GUBIANI, P. I., FAGANELLO, A., & DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocados pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia Física)– Faculdade de filosofia, letras e ciências humanas do departamento da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481 2009.

MARASCA, I.; DE OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; DA CUNHA, J. P. A. R.; DE ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1817-1825, 2008.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. D. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. D. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

RODRIGUES, F.de S. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em área sob sistema plantio direto**. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 3, p. 52-61 1997.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n. 1).

TAVARES, U.E.; MONTENEGRO, A.A.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.S.; VICENTE, T.F. DA S.; ANDRADE, C.W.L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Research and Irrigation Management**, v. 3, n. 2, p. 78-89, 2014.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina, **Embrapa Soja. Circular Técnica**, 1999.

TORMENA, C. A.; SILVA, AP da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. D. F. Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto. **Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado técnico**, 2002.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. **Applications of soil physics**, New York: Academic Press, 1980, Cap. 13, p. 319-344.

4 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB ESCARIFICAÇÃO E GESSAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

Com o passar dos anos, solos cultivados no sistema plantio direto, acumulam pressões originadas pelo tráfego de máquinas, que podem acarretar a compactação do solo, um dos principais problemas presentes na agricultura moderna. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de sistemas de preparo do solo em atributos físicos, químicos e na produtividade de um Latossolo Vermelho cultivado em plantio direto há 15 anos. O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Bárbara, em Joviânia, GO. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto por quatro tratamentos: (T) = Testemunha, (E) = Escarificação, (G) = Gessagem, (G+E) = Gessagem e escarificação, com seis repetições. Foram determinadas a fertilidade do solo (MOS, pH, H+Al, P, K, Ca e Mg), umidade gravimétrica, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade, resistência do solo à penetração e produtividade. Os dados foram analisados por meio da análise de variância e quando significativo aplicou-se o teste de Dunnet para comparação dos tratamentos ao nível de probabilidade de 5% de erro ($p < 0,05$). Também foram realizadas análises de correlação entre os indicadores físicos e a produtividade de grãos. Nos tratamentos que receberam gesso houve um aumento dos teores de Ca, provavelmente devido ao gesso agrícola ser constituído por Ca na forma do cátion Ca^{2+} . Na camada 0-0,10 m os tratamentos (E+G) e (E) mostraram incremento significativo de macroporosidade, o que é atribuído à escarificação do solo. A densidade do solo e a macroporosidade, se mostraram indicadores físicos de grande influência na determinação da produtividade da soja em sistema plantio direto.

Palavras-chave: Manejo do solo; produtividade; semeadura direta.

ABSTRACT

As years go by, cultivated soils under no-tillage system build up pressure, caused by traffic of machines, which can lead to soil compaction, one of the main problems in modern agriculture. The objective of this study was to evaluate the effects of soil tillage systems on soil physical and chemical properties and on grain yield of an Oxisol cultivated under a no-tillage system for 15 years. The experiment was conducted on the farm Fazenda Santa Bárbara, in Joviânia, GO. The experiment was arranged in a randomized block design, composed of four treatments: (C) = Control, (S) = Scarification, (G) = Gypsum application, (G+S) = Gypsum application and scarification, with six replications. The following properties were determined: soil fertility (MOS, pH, H+Al, P, K, Ca and Mg), gravimetric moisture, particle density, soil density, porosity, soil resistance to penetration and grain yield. The data were submitted to analysis of variance and when they were significant, Dunnet's test was applied for comparison of treatments, with the level of probability of 5% of error ($p < 0.05$). Analyses were also made

of the correlation between the physical indicators and grain yield. In treatments that received gypsum, there was an increase in the concentrations of Ca, probably because gypsum consists of Ca in the form of cation Ca^{2+} . In the 0-0,10 m layers, treatments (S+G) and (S) showed a significant increase in porosity, which is attributed to soil scarification. Soil density and macroporosity were physical indicators of great influence in the determination of soybean yield in no-tillage system.

Key words: Soil management, productivity, direct seeding.

4.1 INTRODUÇÃO

A intensificação da agricultura moderna de forma inadequada está levando a compactação e degradação dos solos. A compactação afeta a absorção de água e nutrientes pelas plantas, além de aumentar a densidade do solo, diminuir a porosidade e a infiltração de água no solo e aumentar a resistência do solo a penetração (Hamza & Anderson, 2005). No sistema plantio direto esses problemas se acentuaram pois a falta de revolvimento associada a maiores teores de umidade e densidade do solo na camada superficial, facilitam a compactação do solo nesse sistema. Nesse sentido, trabalhos mostram que práticas como gessagem e escarificação podem melhorar as condições do ambiente radicular (Caires et al., 2003; Camara & Klein, 2005; Klein & Camara, 2007).

As sucessões de plantio e o tráfego excessivo no solo podem vir a provocar a compactação nas camadas superficiais. Diante disso a escarificação tem sido uma alternativa para o rompimento destas camadas compactadas, entretanto, o efeito da escarificação nas propriedades físicas do solo pode ser variável. Drescher et al. (2016), em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, observaram que a duração dos efeitos da escarificação ocorreu até 18 meses após a operação mecânica.

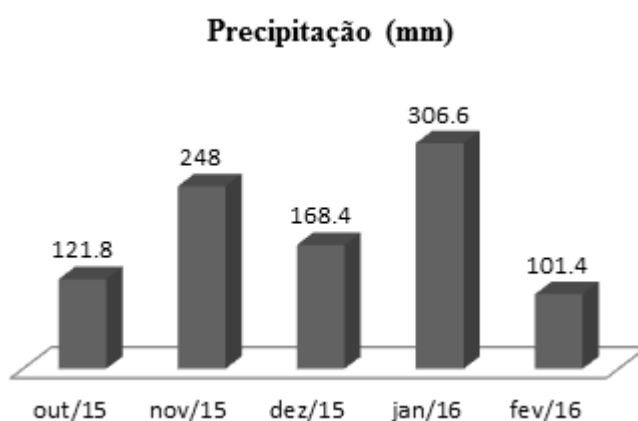
Em geral, em Latossolos Vermelho sob plantio direto há mais de 10 anos, observa-se na literatura que a escarificação promove uma melhoria nos indicadores físicos, como a redução da densidade do solo e resistência do solo a penetração (Camara & Klein, 2005; Klein & Camara, 2007; Girardello et al., 2014) e aumento nos valores de macroporosidade (Watanabe et al., 2002; Kamimura et al., 2009; Nunes et al., 2014), mas que nem sempre esses efeitos persistem com o decorrer do tempo (Drescher et al., 2016).

O uso gesso agrícola pode melhorar as condições do subsolo, além de ser eficiente na melhoria do ambiente radicular (Caires et al., 2003), pois a aplicação do gesso no solo pode aumentar a concentração de cálcio (Favaretto et al., 2008).

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de sistemas de preparo do solo nos atributos físicos, químicos e na produtividade de um Latossolo Vermelho eutrófico cultivado em plantio direto há 15 anos em Joviânia, GO.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Bárbara localizada no município de Joviânia – GO entre as coordenadas 17° 53' 42.93" S de latitude sul e 49° 37' 45.20" de longitude oeste, com altitude aproximadamente 780 m e precipitação média representada na Figura 2. O solo utilizado neste estudo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (Embrapa, 2013), com a granulometria de 250 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 710 g kg⁻¹ de areia (classe textural média).



Fonte: Fundação ABC e Agrodetecta - Basf.

Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) mensal dos meses de outubro de 2015 a fevereiro de 2016.

A análise química inicial do solo na camada de 0-0,20 m apresentou as seguintes propriedades: Ca²⁺: 2,8 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺: 0,4 cmol_cdm⁻³, K⁺: 0,12 cmol_c dm⁻³, P (Mehlich I): 30,4 mg dm⁻³, matéria orgânica: 1,7 %, H+Al³⁺: 2,3 cmol_c dm⁻³ e valores de capacidade de troca de cátions: 5,64 cmol_c dm⁻³, saturação por bases: 59,17 % e pH (CaCl₂): 5,64.

A área de estudo vem sendo cultivada no sistema plantio direto há 15 anos, adotando-se a sucessão soja - milho e na época do pousio um ano cultiva o milho e outro apenas a palhada do milho. A área onde o experimento foi alocado corresponde a um talhão de 315 hectares, onde foi feito um diagnóstico para identificar a distribuição espacial da compactação na área. Após a localização das regiões com maiores índices de

compactação na área, foi selecionada uma parte da área com 4860 m² para montagem do experimento.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dividido em 24 parcelas (4 tratamentos x 6 repetições) com dimensões de 13,5 m de largura por 15,0 m de comprimento, composto pelos tratamentos: 1) (T) = Testemunha – parcelas sem escarificação e sem gessagem, nas quais a compactação diagnosticada inicialmente foi mantida; 2) (E) = Escarificação – parcelas que foram escarificadas; 3) (G) = Gessagem – parcelas que receberam gesso depositado na superfície do solo, a lanço, e sem escarificação; 4) (G+E) = Gessagem e escarificação – parcelas que receberam gesso a lanço e, em seguida, foram escarificadas.

O experimento foi instalado em setembro de 2015. A escarificação do solo foi realizada neste mesmo período, até profundidade de 0,25 m, antes da semeadura da soja, utilizando-se um escarificador da marca Tatu, modelo EST/MATIC 300. O gesso agrícola, composto por 16% de cálcio e 13% de enxofre, foi aplicado a lanço nas parcelas que continham esse tratamento. A quantidade de gesso usada foi de 1000 kg ha⁻¹, e nas parcelas com gesso foi aplicado 20,25 kg. Para a recomendação do gesso foi seguido a metodologia de Sousa & Lobato (2004), considerando-se a necessidade de gessagem o produto da porcentagem de argila do solo x 50.

O plantio da soja foi feito em 27 de outubro de 2015, usando sementes da cultivar coodetec 2728, com um stand de 18 plantas por metro e adubação de plantio de 413 kg/ha 02-20-10 + micro. A calagem, realizada em setembro de 2016, foi feita a lanço, na área do experimento, na quantidade de 386 kg/ha⁻¹ com calcário dolomítico composto por 33 % de CaO e 14% de MgO.

A amostragem de solo foi realizada na primeira quinzena do mês janeiro de 2016, no estágio reprodutivo R3 no início da formação da vagem. O número de amostras e profundidade de coleta variou conforme a finalidade da amostragem. Para a determinação da fertilidade do solo (MOS, pH (CaCl₂), H+Al, P, K, Ca e Mg), umidade gravimétrica, textura e densidade de partículas foram coletadas três amostras deformadas com auxílio de um trado holandês em três pontos de cada parcela nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, mas na camada 0,40-0,60 m foi coletada apenas um ponto de cada parcela. Para as determinações de densidade do solo e porosidade, foram utilizados anéis volumétricos coletados em três pontos de cada parcela, em três camadas: 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Para estimativa da resistência do solo a penetração, foram realizadas penetrometrias em três pontos de cada parcela nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, usando um penetrômetro modelo IAA/PLANALSUCAR (Stolf et al., 1983).

O sistema radicular da soja foi avaliado durante o estágio de desenvolvimento R1 da soja, em trincheiras (150 cm de largura por 110 cm de profundidade) abertas a quatro centímetros da linha de cultivo das plantas de soja. Com cuidado, as raízes de soja foram sendo limpas com jatos de solução de água e hidróxido de sódio, para eliminar a terra presa às raízes e permitir melhor exposição das raízes de soja em uma das paredes da trincheira. Nessa parede, foi usado um quadro (de 1m x 1m) dividido em quadrículas de 0,05 x 0,05 m, colocado em pleno contato com o solo, para avaliação do desenvolvimento radicular das plantas de soja em uma das parcelas de cada tratamento estudado, após registro fotográfico dos perfis radiculares.

Após a maturação da soja, foi determinada a produtividade de grãos colhendo-se, aleatoriamente, 10 m lineares de cada parcela. Os grãos foram trilhados, pesados (com umidade dos grãos corrigida para 13%) e realizados os cálculos de estimativa da produtividade em kg/ha⁻¹.

As análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios de solos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A fertilidade do solo foi caracterizada pelos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (extraídos em KCl), fósforo (P) e potássio (K) (extraídos em Mehlich I), acidez potencial (H+Al) (solução SMP) e pH (CaCl₂), de acordo com metodologias descritas em Embrapa (2011). A matéria orgânica do solo foi determinada pela metodologia de oxidação com dicromato e leitura em espectrofotômetro (Embrapa, 2009). Com os resultados analíticos, foram calculados a somas de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

A textura do solo foi determinada pelo método do densímetro de Boyoucos conforme Camargo et al. (2009). As determinações de densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, seguiram os procedimentos analíticos descritos pela Embrapa (1997).

Para determinação da resistência do solo à penetração (RP), os dados das penetrometrias feitas em campo foram convertidos para valores de RP expressos em MPa, conforme descrito em Stolf (1991).

Os dados de RP, expressos em MPa, foram pareados aos de umidade (U), e ajustados por meio do modelo $RP = a \cdot U^b$, proposto por Busscher et al. (1997), pois devido

a natureza da relação exponencial entre RP e U, pequenos incrementos de U resultam em grandes incrementos de RP. O programa SAS Institute foi usado na obtenção dos coeficientes utilizando-se o modelo linearizado ($\ln RP = \ln(a) + b.(\ln U)$)

Os resultados obtidos foram analisados quanto à variância, checando-se previamente os pressupostos de normalidade de resíduos, de homogeneidade de variâncias, de independência de resíduos e do efeito de aditividade. As variáveis respostas que não atenderam os pressupostos foram transformadas por $\sqrt{x} + 1$, box cox $x'_\lambda = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda}$ e $\log(x+1)$. Quando houve efeito das fontes de variação analisadas aplicou-se o teste de Dunnett para comparação dos tratamentos ao nível de probabilidade de 5% de erro ($p < 0,05$). Também foram realizadas análises de correlação entre os indicadores físicos e a produtividade de grãos.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, o maior teor médio de matéria orgânica (MOS) foi encontrado na camada 0-0,10 m (Figura 3. A), o que deve estar associado a presença dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Na camada 0,10-0,20 m, o teor médio de MOS foi menor, mas não diferiu do encontrado na camada 0-0,10 m. Nas camadas 0,20-0,40 e 0,40 – 0,60 m, os teores médios foram menores, diferindo dos valores das camadas superficiais. Mesmo comportamento foi observado na camada 0-0,10 m de um Latossolo Vermelho distrófico, textura média, sob plantio direto por Zanão Júnior et al. (2010).

O teor médio de fósforo (P) disponível diminuiu com o aumento da profundidade, porém foi maior nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 3. I). Azevedo et al. (2007) avaliando as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Amarelo, também encontraram maior concentração de P na camada 0-0,10 m e redução com a profundidade e atribuíram esses resultados à aplicação de fertilizantes fosfatados na linha de plantio na camada superficial, além disso, o aumento no P orgânico, devido à presença de resíduos na superfície do solo, pode ter contribuído para maiores quantidades deste elemento na camada superficial, favorecendo maior concentração de P nessa camada. No presente trabalho, o maior teor médio de P foi obtido na camada 0,10-0,20 m, embora esse não tenha diferido do encontrado na camada 0-0,10 m.

O comportamento do teor de potássio (K) no solo foi o mesmo observado para MOS: o teor médio das camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m é maior que o das camadas 0,20-

0,40 m e 0,40-0,60 m (Figura 3. F). Leite et al. (2010), avaliando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo sob plantio direto, observaram decréscimo significativo dos teores de K no perfil do solo, mas também não obtiveram diferenças entre os teores de K nas camadas superficiais (0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m).

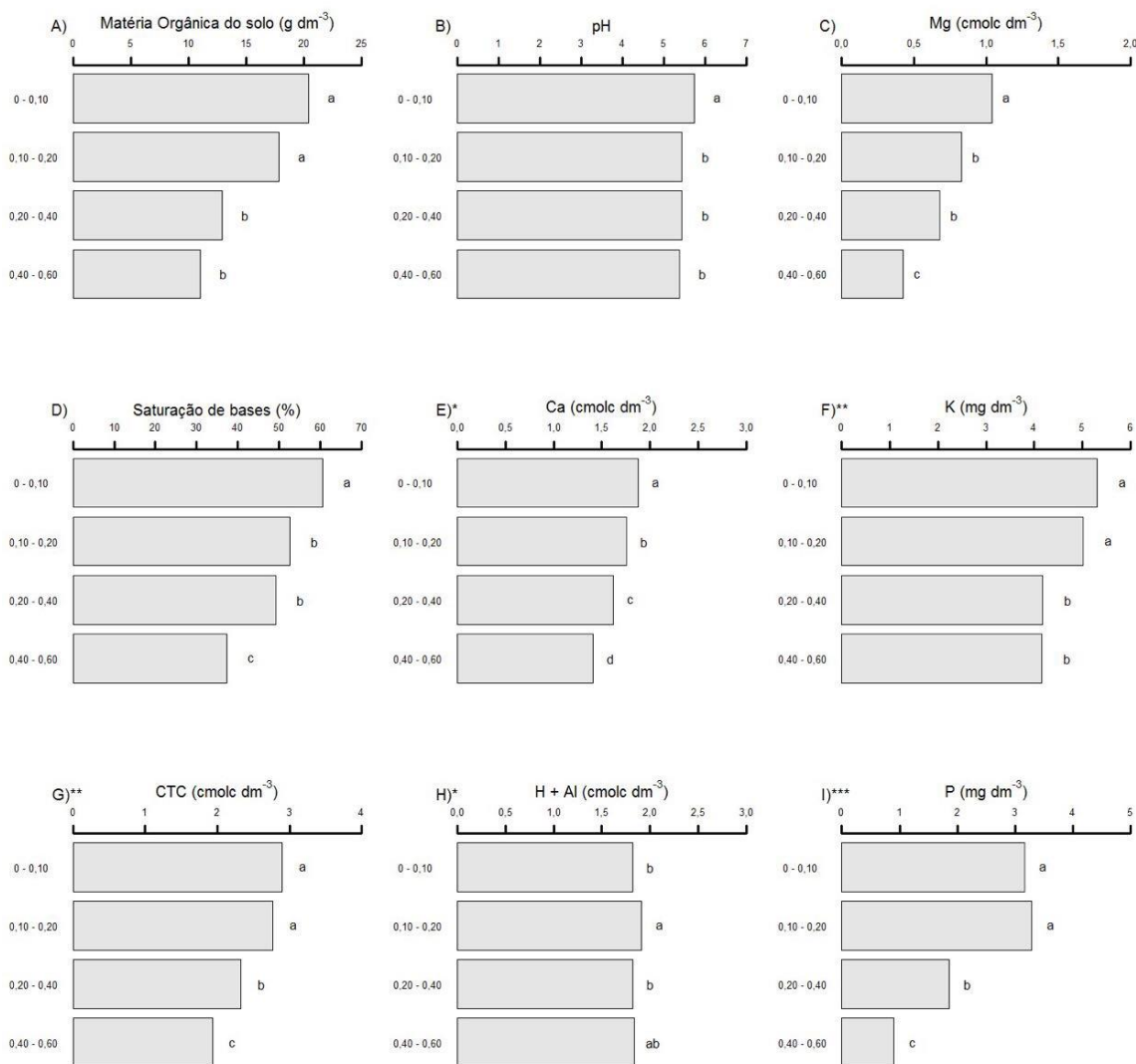


Figura 3. Valores médios da fertilidade do Latossolo Vermelho: A. Matéria Orgânica do solo, B. pH, C. Magnésio (Mg), D. Saturação por bases, E. Cálcio (Ca), F. Potássio (K), G. Capacidade de Troca Catiônica (CTC), H. Acidez potencial (H+Al), I. Fósforo (P), em camadas do solo (m). *, **, *** indicam dados transformados por $\sqrt{x} + 1$, box cox $x'_{\lambda} = \frac{x^{\lambda} - 1}{\lambda}$ e $\log(x+1)$. Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste Dunnett.

O valor médio de pH da camada 0-0,10 m diferiu dos valores médios das demais camadas estudadas, que não diferiram entre si quanto ao valor médio de pH (Figura 3. B), o que pode estar relacionado ao fato do calcário ter sido distribuído na superfície, sem incorporação do calcário no perfil do solo. Maiores valores de pH foram verificados

em sistema plantio direto na camada 0-0,10 m em um Latossolo Vermelho Amarelo (Leite et al., 2010).

O teor médio de Magnésio (Mg) da camada 0-0,10 m, diferiu dos valores encontrados nas demais camadas. Entre a camada 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m o teor de Mg não diferiu, mas ambos foram significativamente maiores que o encontrado na camada 0,40-0,60 m. O maior teor de Mg na camada superficial provavelmente se deve ao calcário não ter sido incorporado, além de fornecer Ca e Mg para o solo (Figura 3. C). Os teores de Ca diferiram entre todas as camadas, apresentando redução significativa ao longo do perfil do solo (Figura 3. E).

A saturação por bases (V%) diminuiu com o aumento da profundidade do solo, pois depende das bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , que apresentam mesmo comportamento no perfil do solo. A camada 0-0,10 m apresentou maior V%. Entre as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m os valores médios de V% não diferiram, mas esses foram superiores ao obtido na camada 0,40-0,60 m (Figura 2. D). Zanão Júnior et al. (2010) também observaram maior V% na camada 0-0,10 m de um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto.

Os valores médios de capacidade de troca de cátions (CTC) das camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m não diferem, mas entre as camadas 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m diferem entre si (Figura 3. G). Assim, o teor médio da CTC da camada 0-0,20 m difere da camada 0,20-0,60 m.

Os teores da acidez potencial (H+Al) foram menores nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m, mas na 0,10-0,20 m foi obtido maior teor de H+Al, seguido do encontrado na camada 0,40-0,60 m (Figura 3. H). Soratto & Crusciol (2008), em um Latossolo Vermelho distroférrico obtiveram diminuição da H+Al na camada 0-0,05 m três meses após a aplicação de calcário e gesso agrícola em superfície, em sistema plantio direto recém-implantado, além de reduções de H+Al na camada 0,05-0,10 m seis meses após a aplicação.

Em relação aos tratamentos estudados neste trabalho, os maiores valores de pH foram encontrados no tratamento (G), seguido do (E + G) e (E). O tratamento (T) apresentou menor pH (Figura 4. A). O maior valor médio de pH em (G) pode ser explicado devido a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo os óxidos hidratados de Fe e Al, com o SO_4^{2-} deslocando OH^- e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez do solo (Reeve & Sumner, 1972). Em consequência, maior valor médio de H+Al foi obtido na (T), que diferiu dos obtidos nos demais tratamentos. Os

valores médios de H+Al do solo não diferiram entre os tratamentos (E) e (E + G), mas esses foram maiores que o obtido com a (G).

Os teores de Mg não diferiram entre os tratamentos (E+G), (E) e (G), mas todos diferiram do encontrado na (T). A V% foi maior no tratamento (G), diferindo dos demais (Figura 4. C), pois a aplicação de gesso resulta no aumento dos teores de Ca (Soratto & Crusciol, 2008). O solo sob os tratamentos (E + G) e (E) não diferem quanto à V%, e no (T), encontra-se a menor V%, pois nesse tratamento também se observou menor teor de Ca, em relação ao tratamento (G) (Figura 4. D).

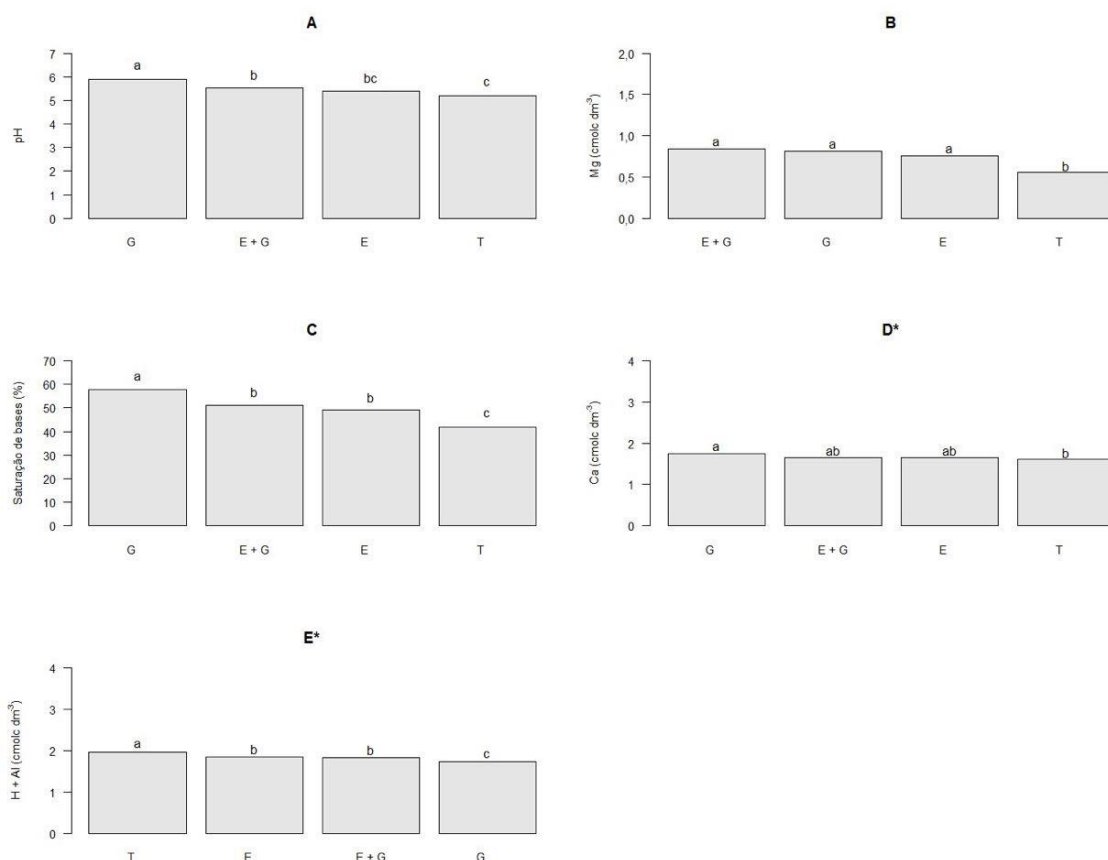


Figura 4. Dinâmica do pH (A), magnésio (B), saturação por bases (C), cálcio (D) e H+Al (E) em razão dos tratamentos. *, indicam dados transformados por $\sqrt{x} + 1$. Médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste Dunnet. E+G: Escarificação + Gesso; E: Escarificação; T: Testemunha; G: Gesso.

Os teores de Ca foram maiores nos tratamentos que receberam gesso ((G)>(E + G)>(E)), diferindo do (T), provavelmente devido ao gesso agrícola possuir Ca na forma do cátion Ca^{2+} como um dos seus principais constituintes. A aplicação de gesso no solo promove um aumento significativo de Ca no perfil do solo (Zandoná et al., 2015; Caires et al., 2001), e uma redução significativa nos teores de Al e Mg no solo (Caires et al., 2001).

Na figura 5 podem ser observados os valores de densidade do solo (DS) nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m foram menores nos tratamentos (E + G) e (E), diferindo de (T) e (G). Camara & Klein (2005) avaliaram o efeito da escarificação esporádica em um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto e obtiveram uma redução da DS na camada superficial. Na camada 0,20-0,40 m os tratamentos do presente trabalho não apresentaram diferenças entre si. A DS apresentou coeficiente de variação (CV) 6,07%.

Nos tratamentos (E) e (E+G), a DS na camada 0-0,10 m foi menor que o obtido nas demais camadas, e não diferiu entre as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Klein & Camara (2007) também observaram redução da DS pela escarificação de um Latossolo Vermelho sob plantio direto.

A (G) apresentou menor DS nas camadas 0-0,10 m e 0,20-0,40 m diferindo da DS na camada 0,10-0,20 m. No tratamento (T) os valores de DS foram maiores nas camadas 0-0,10 m e 0,20-0,40 m, e menores na camada 0,10-0,20 m, que diferiu das demais. Os valores de DS nos tratamentos (E) e (E+G) na camada de 0-0,10 m ficaram abaixo de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$. Reichert et al. (2003) ponderam $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ como um valor de densidade crítica para solos de textura média, para o bom desenvolvimento do sistema radicular.

Na camada 0-0,10 m os tratamentos que apresentaram maiores valores de macroporosidade (MA) foram (E+G) e (E), que diferiram dos demais. Watanabe et al. (2002), avaliando o efeito da escarificação nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico, obtiveram maiores valores de MA e PT no tratamento escarificado. A MA nos tratamentos (G) e (T) não diferiram e a (T) apresentou menor MA. Nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, a MA não diferiu entre os tratamentos, apresentando, em geral, um CV = 23,61%.

O tratamento (E+G) apresentou maior valor médio de MA na camada 0-0,10 m. Na camada 0,10-0,20 m ocorreu um decréscimo de MA, diferindo da camada 0-0,10 m. Na 0,20-0,40 m a MA não diferiu das duas camadas acima. Na (E) a MA apresentou mesmo comportamento observado na (E+G). Nunes et al. (2014), avaliando um sistema de plantio direto escarificado obtiveram um aumento da MA imediatamente após a escarificação, em comparação ao plantio direto sem escarificação. No tratamento (G) os resultados de MA foram maiores na camada 0,20-0,40 m diferindo das demais, e na camada 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, a MA não diferiu. A (T) apresentou maiores valores de

MA na camada 0,20-0,40 m, seguida da 0,10-0,20 m e 0-0,10 m, com valores médios diferindo de modo significativo entre todas as camadas.

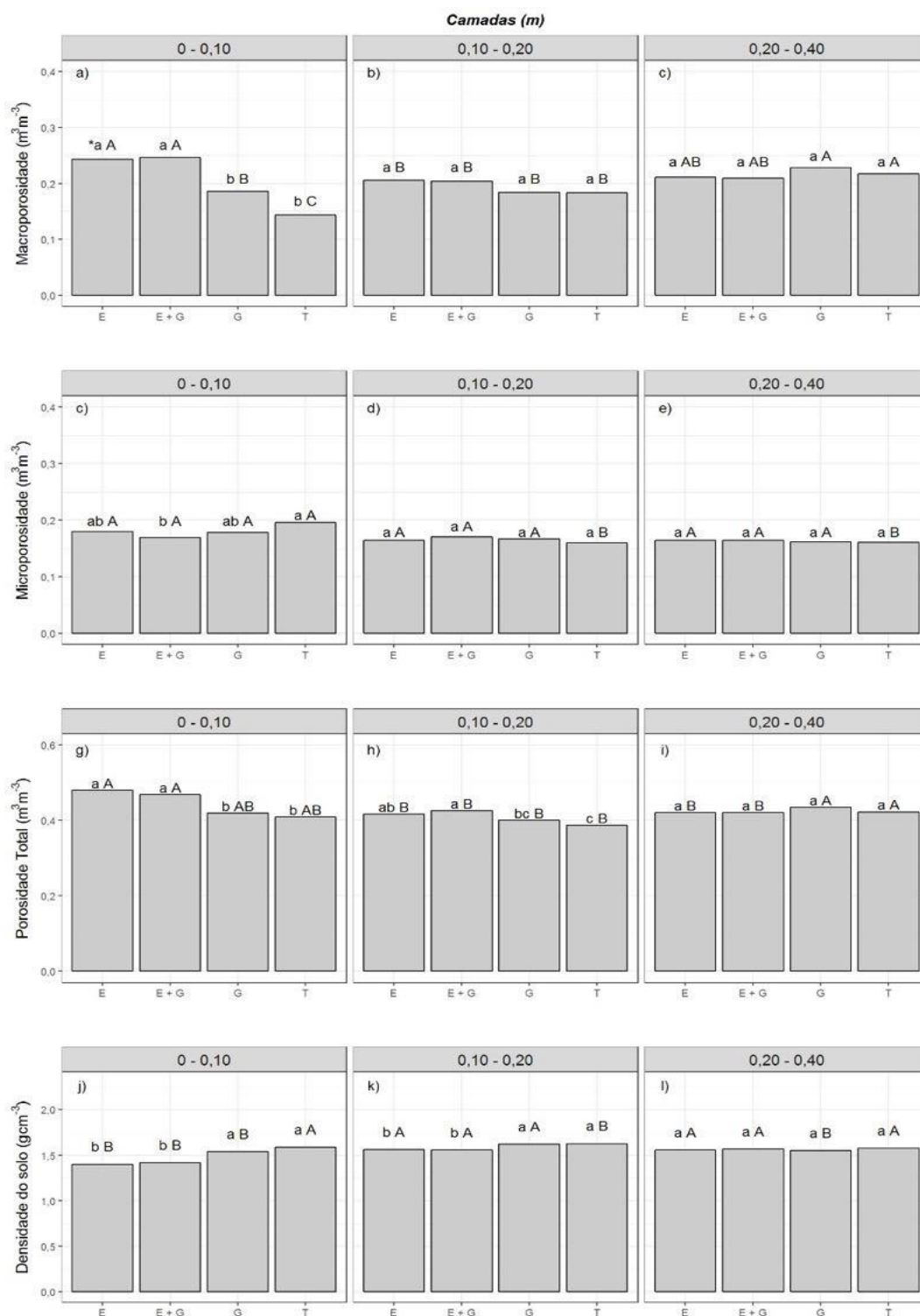


Figura 5. Indicadores físicos sob diferentes manejos do solo e profundidade. *Letras minúsculas comparam médias em um mesmo nível de profundidade. Letras maiúsculas comparam médias de profundidade dentro de cada tratamento. Médias seguidas de letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett. Na microporosidade os dados foram transformados por box cox $x'_\lambda = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda}$. E+G: Escarificação + Gesso; E: Escarificação; T: Testemunha; G: Gesso.

Na camada 0-0,10 m os maiores valores de microporosidade (MI), foram obtidos na (T), seguido pela (G) e (E), diferindo da (E + G). Watanabe et al. (2002), avaliando o efeito da escarificação nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico de textura média, observaram que os valores de MI, não diferiram com a escarificação. Nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m não houve diferença de MI entre os tratamentos. A MI apresentou CV de 14,02%.

A MI encontrada no tratamento (E) não diferiu entre profundidades. Na (E + G) e (G) o valor médio de MI não diferiu do obtido em (E), mas na (T) foi obtido maior valor de MI na camada 0-0,10 m, que diferiu das demais.

Nas camadas 0-0,10 m foram obtidos os maiores valores de porosidade total (PT) nos tratamentos (E + G) e (E), diferindo dos encontrados na (G) e (T). Os maiores valores de PT nesses dois tratamentos provavelmente estão relacionados aos maiores valores de MA obtidos nesses mesmos tratamentos. Klein et al. (2008) obtiveram maior PT em um Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado em relação ao sistema não escarificado. Na camada de 0,10-0,20 m os maiores valores permaneceram nos tratamentos (E + G) e (E), e o (G) não diferiu do (E) e nem do (T), e o (T) apresentou os menores valores. Na camada de 0,20-0,40 m os tratamentos não diferiram entre si. A PT apresentou CV= 9,16%.

O tratamento (E + G) apresentou maior PT na camada 0-0,10 m, que diferiu dos demais valores de PT, embora não tenha diferido entre as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Kamimura et al. (2009), avaliando o efeito do manejo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho na camada de 0-0,10 m, obtiveram maiores valores de PT, proporcionado pela escarificação. A PT apresentou mesmo comportamento na (E) e na (E + G). O maior valor de PT foi obtido na camada 0,20-0,40 m do solo sob (G), e esse valor diferiu do encontrado na camada 0,10-0,20 m. A PT no tratamento (T) apresentou mesmo comportamento observado na (G).

Os valores de umidade apresentaram redução significativa com a profundidade, sendo maior na camada 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. O maior teor de umidade na camada 0-0,10 m pode ser justificado pelo experimento ser conduzido em um período chuvoso e então favorecer o maior teor de umidade nas camadas superficiais. Os valores de resistência do solo à penetração (RP), apresentam-se menores na camada 0-0,10 m provavelmente devido ao efeito da escarificação, da umidade e do maior teor de matéria

orgânica, já na camada 0,10-0,20 m ocorre um aumento nos valores, e a camada 0,20-0,40 m é a que apresentou maiores valores de RP (Figura 6).

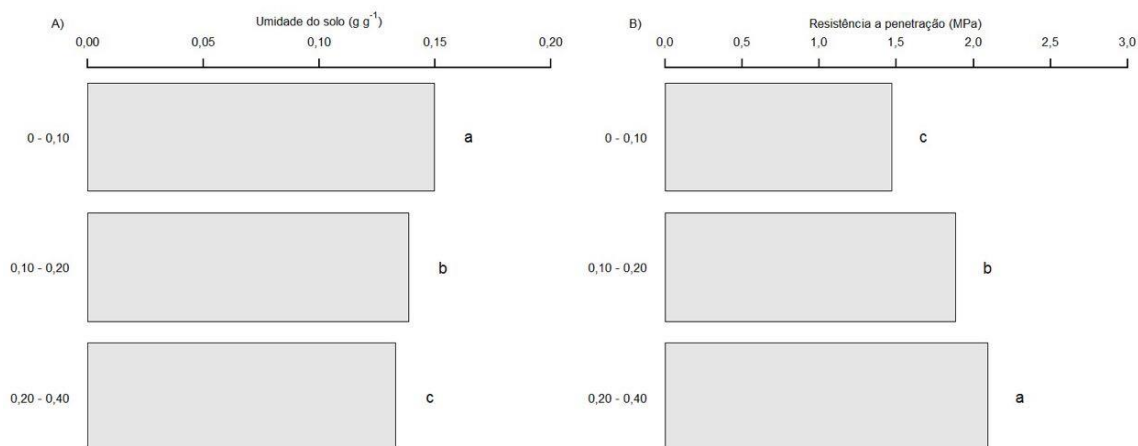


Figura 6. Umidade do solo (g g^{-1}) (A) e Resistência do solo a penetração (MPa) (B) nas camadas de solo (cm). Letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett.

O teor médio de umidade do solo (U) não diferiu entre os tratamentos (E), (T) e (G), mas esses três diferiram do obtido com a (E + G). A homogeneidade da umidade do solo é confirmada pelo baixo CV encontrado ($=7,2\%$), associado ao fato da amostragem ter sido realizada durante o período chuvoso (Figura 7).

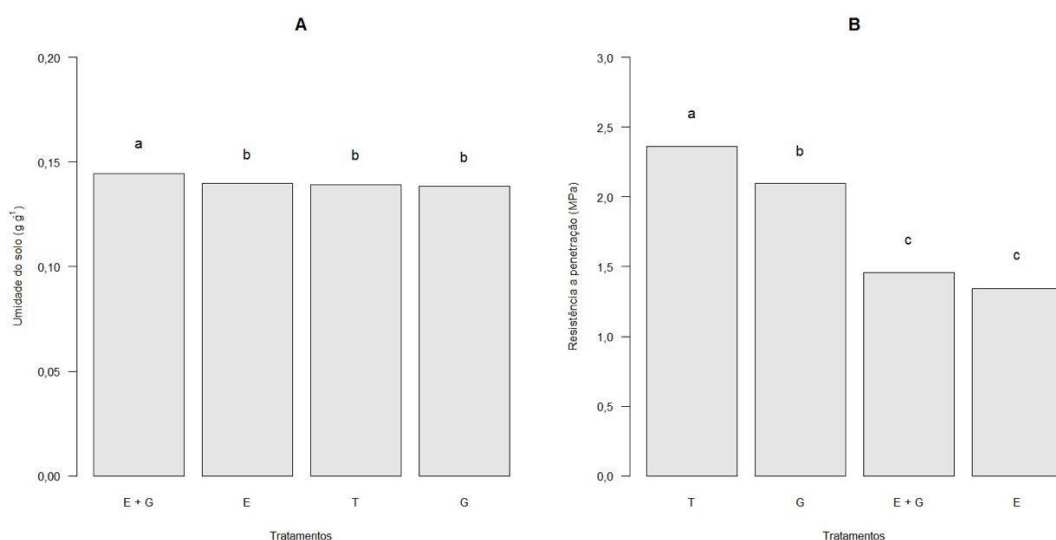


Figura 7. Umidade do solo (g g^{-1}) (A) e Resistência do solo a penetração (MPa) (B) em razão dos tratamentos. Letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett. E+G: Escarificação + Gesso; E: Escarificação; T: Testemunha; G: Gesso.

Os valores de RP foram menores no (E + G) e (E) diferindo dos demais. O gesso (G) apresentou menor RP em relação a (T), sendo este o tratamento que apresentou maior valor médio de RP. A (RP) apresentou CV = 19,6%.

Os menores valores de RP nos tratamentos (E) e (E + G) estão relacionados à intervenção mecânica do escarificador que diminuiu a RP resultando em uma redução da compactação, quando comparado a (T). Diversos autores (Klein & Camara (2007); Reichert et al. (2009); Girardello et al. (2014), obtiveram uma redução dos valores de RP em Latossolos Vermelho escarificados.

O maior valor médio de RP na (T) (=2,36 MPa) reflete a falta de intervenção mecânica, química ou biológica na área. A aplicação do gesso apresentou uma média de RP de 2,09 MPa, neste tratamento pode ter ocorrido um melhor desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, ocorreu uma pequena redução dos valores de RP em relação a testemunha.

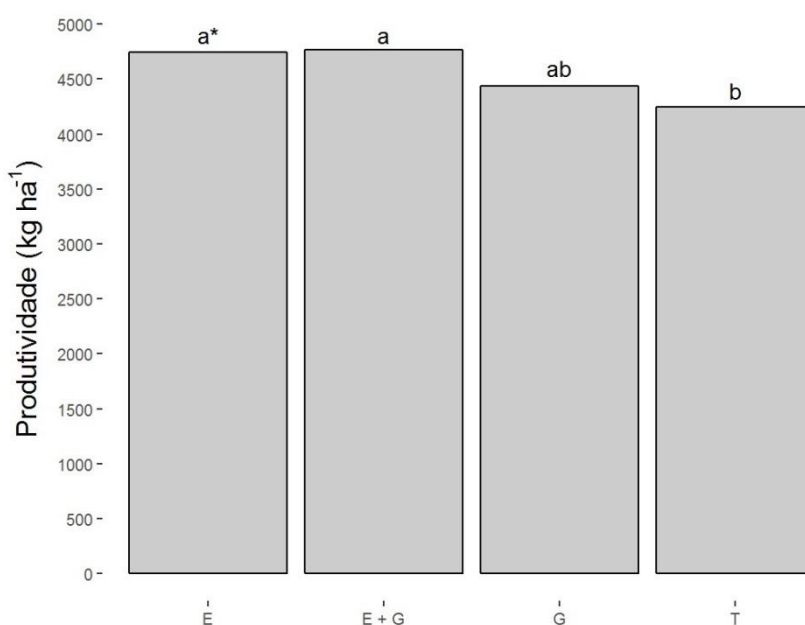


Figura 8. Produtividade estimada da cultura da soja sob diferentes manejos de solo. *Letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett. E+G: Escarificação + Gesso; E: Escarificação; T: Testemunha; G: Gesso.

Os valores de produtividade foram maiores nos tratamentos (E + G) e (E) diferindo de (T). A produtividade com a (G) não diferiu nem da (T), nem da (E + G) e (E), porem produziu mais que a (T). As medias de produtividade da (E+G) foi de 4770,6 kg ha⁻¹; seguido da (E) com 4743,6 kg ha⁻¹, estas maiores produtividades possivelmente estão relacionadas com os maiores valores de MA e menores valores de RP nestes tratamentos. A diferença de produtividade entre esses dois tratamentos é de 27 kg ha⁻¹, indicando que a (G) não foi o fator decisivo para esse aumento de produção em relação a (T), mas sim a escarificação (Figura 8).

O tratamento (G) apresentou uma média de produtividade de 4440,0 kg ha⁻¹, e a (T) uma média de 4242,0 kg ha⁻¹. O tratamento (G) em relação a (T) produziu 198 kg ha⁻¹ a mais. Já os tratamentos (E + G) e (E) apresentaram uma diferença de, aproximadamente, 528,6 kg ha⁻¹ a mais em relação a (T), uma diferença significativa do ponto de vista econômico. Estimando o ganho bruto da área de produção comercial de 315 ha e o custo de venda da saca de soja cotado a R\$ 70,00, os tratamentos (T), (E), (G) e (E+G) renderiam, respectivamente, R\$ 1.558.935,00, R\$ 1.743.273,00, R\$ 1.631.700,00 e R\$ 1.753.195,50.

Os custos operacionais variaram conforme o tratamento. Na (E) foram gastos R\$ 70,00/ha⁻¹. Na (G), o custo do insumo e a operação de aplicação totalizaram R\$ 150,00/ha⁻¹. Na (E+G) esse custo foi mais elevado: R\$ 220,00/ha⁻¹. Extrapolando-se esses custos para área comercial têm-se um custo total das operações de R\$ 22.050,00 com a (E), R\$ 47.250,00 com a (G) e de R\$ 69.300,00 com (E+G). Adotando o valor do ganho bruto da testemunha como referencia obtém-se um ganho nos tratamentos (E), (G) e (E+G) de R\$ 184.338,00, R\$ 72.765,00 e R\$ 194.260,50, respectivamente. Subtraindo-se os custos dos ganhos, o tratamento que apresentou maior ganho econômico foi a (E) (=R\$ 162.228,00), seguido da (E + G) (= R\$ 124.960,50) e, por último, da (G) (=R\$ 25.515,00). Entretanto, os benefícios das práticas adotadas não são permanentes e, em alguns casos, não melhoram a produtividade da soja, como mostram os resultados de Secco et al. (2005) e Girardello et al. (2014), que não obtiveram incrementos de produtividade na cultura da soja pela escarificação do solo.

A correlação entre os indicadores físicos do solo e a produtividade de grãos é apresentada na Figura 9, que mostra significância exclusivamente para os pares: MA x PG ($r = 0,67^{**}$) na camada 0-0,10 m; MA x PG ($r = 0,44^{*}$) na camada 0,10-0,20 m; PT x PG ($r = 0,59^{**}$) na camada 0-0,10 m; PT x PG ($r = 0,42^{*}$) na camada 0,10-0,20 m; DS x PG ($r = -0,59^{**}$) na camada 0-0,10 m e DS x PG ($r = -0,61^{**}$) na camada 0,10-0,20 m. Para os indicadores físicos MI e RP não foram significativos em relação à produtividade.

Nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, o aumento da MA promoveu um incremento na produtividade de soja. Andreotti et al. (2010) também encontraram correlação positiva entre PG x MA. Isso indica que uma melhor aeração do solo na camada 0-0,20 m pode ter proporcionado uma melhoria do crescimento radicular e, por conseguinte, aumento de produtividade de grãos de soja. Reichert et al. (2009), citam em

sua revisão, que a MA ideal deve estar acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No presente trabalho os valores de MA encontrados estão acima deste valor.

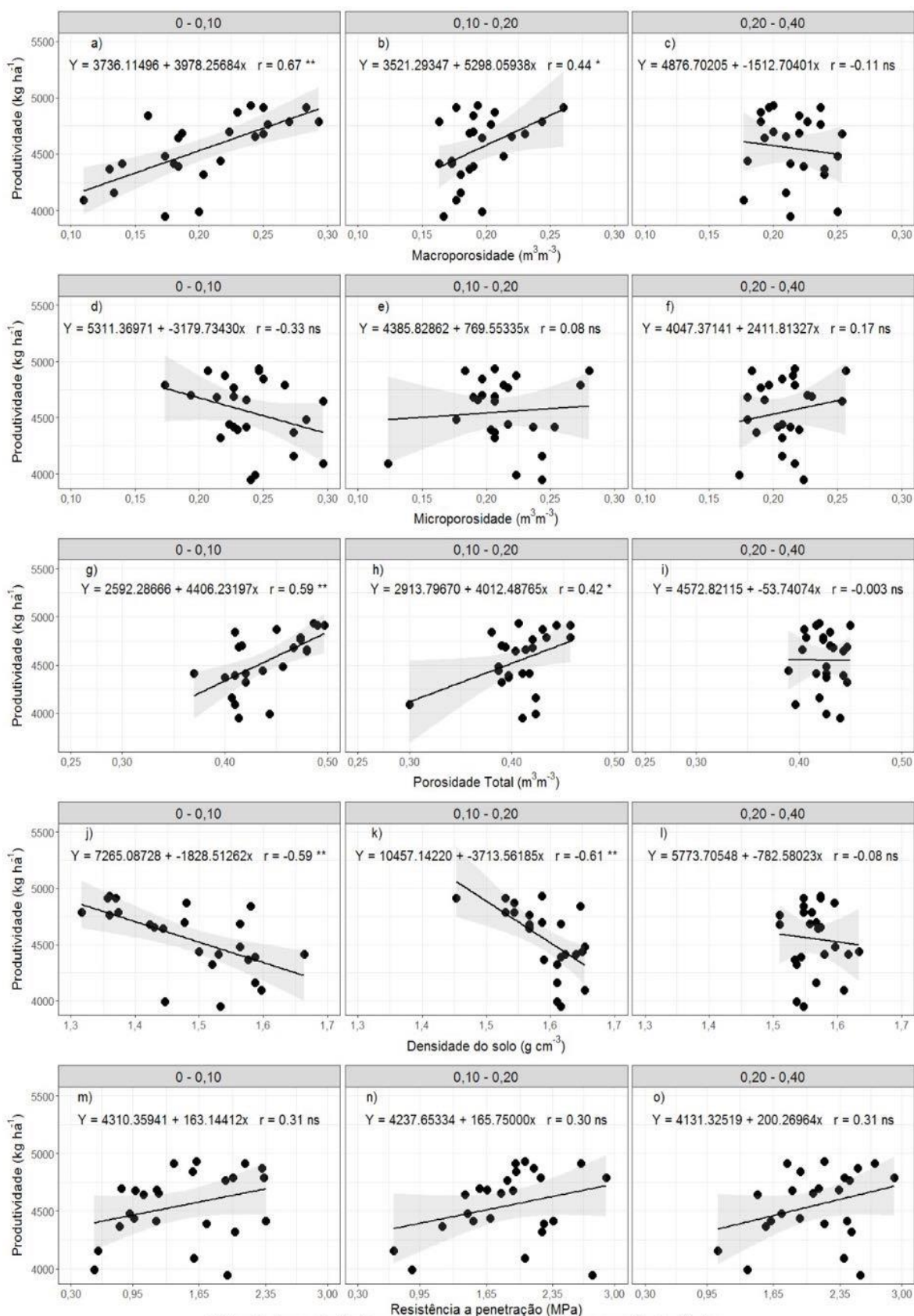


Figura 9. Relação entre a produtividade de grãos de soja e indicadores físicos de um Latossolo Vermelho. **, * equivalem a significativo a 0,01 e 0,05%, respectivamente; ns = não significativo.

Nas correlações entre a DS x PG nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, a medida que a DS aumenta ocorre uma redução na PG. Andreotti et al. (2010), estudando a variabilidade e as correlações entre a produtividade da soja e os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado em sistema plantio direto, verificaram que o aumento da DS na superfície do solo resultou em menores produtividades de grãos de soja. Santos et al. (2006) através de uma análise de correlação ($r=-0,212$) entre DS x PG, observaram que com aumento da DS ocorre uma diminuição da PG.

Os valores de DS na camada 0,20-0,40 m ficaram mais concentrados na faixa de 1,50 a 1,65 g cm⁻³. Estes valores provavelmente estão relacionados ao menor conteúdo de MOS e do acúmulo de pressões exercidas pelo tráfego de máquinas e implementos na área.

Nas correlações entre a PT x PG nas duas camadas (0-0,10 m e 0,10-0,20 m), a medida que a PT aumenta ocorre um incremento na PG. Na camada 0-10 cm a maioria dos valores de PT ficaram entre 0,40 e 0,50 m³m⁻³. Valicheski et al. (2012), encontraram valores médios de 0,52 e 0,54 m³ m⁻³ para PT nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Beutler et al. (2004), avaliando os atributos físicos e as correlações com a PG, obtiveram correlações significativas e positivas da PT e da MA com a PG.

Na avaliação do perfil radicular da soja notam-se diferenças significativas (Figura 10). A (T) apresenta as raízes confinadas nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m, e um baixo volume de raízes no perfil de solo. Cardoso et al. (2006) avaliando os efeitos da compactação do solo no desenvolvimento radicular da soja, sob sistema plantio direto, observaram que na presença de estruturas compactadas havia uma diminuição da exploração do solo pelo sistema radicular da soja. Esses resultados são semelhantes aos do presente trabalho observando (T) em comparação com os tratamentos (E) e (E+G), pois nesses tratamentos houve maior exploração solo pelo sistema radicular da soja devido a descompactação do solo com o escarificador.

O tratamento (E) apresenta raízes até a camada de 0,30 a 0,35 m. Azevedo et al. (2007) avaliando a influência de sistemas de preparo do solo, sobre o sistema radicular da soja, observaram maior comprimento radicular no tratamento escarificado com raízes de até 0,30 m. A planta, nesta situação onde suas raízes não estão confinadas nas camadas superficiais, consegue suportar um período maior de estresse hídrico, devido suas raízes mais profundas.

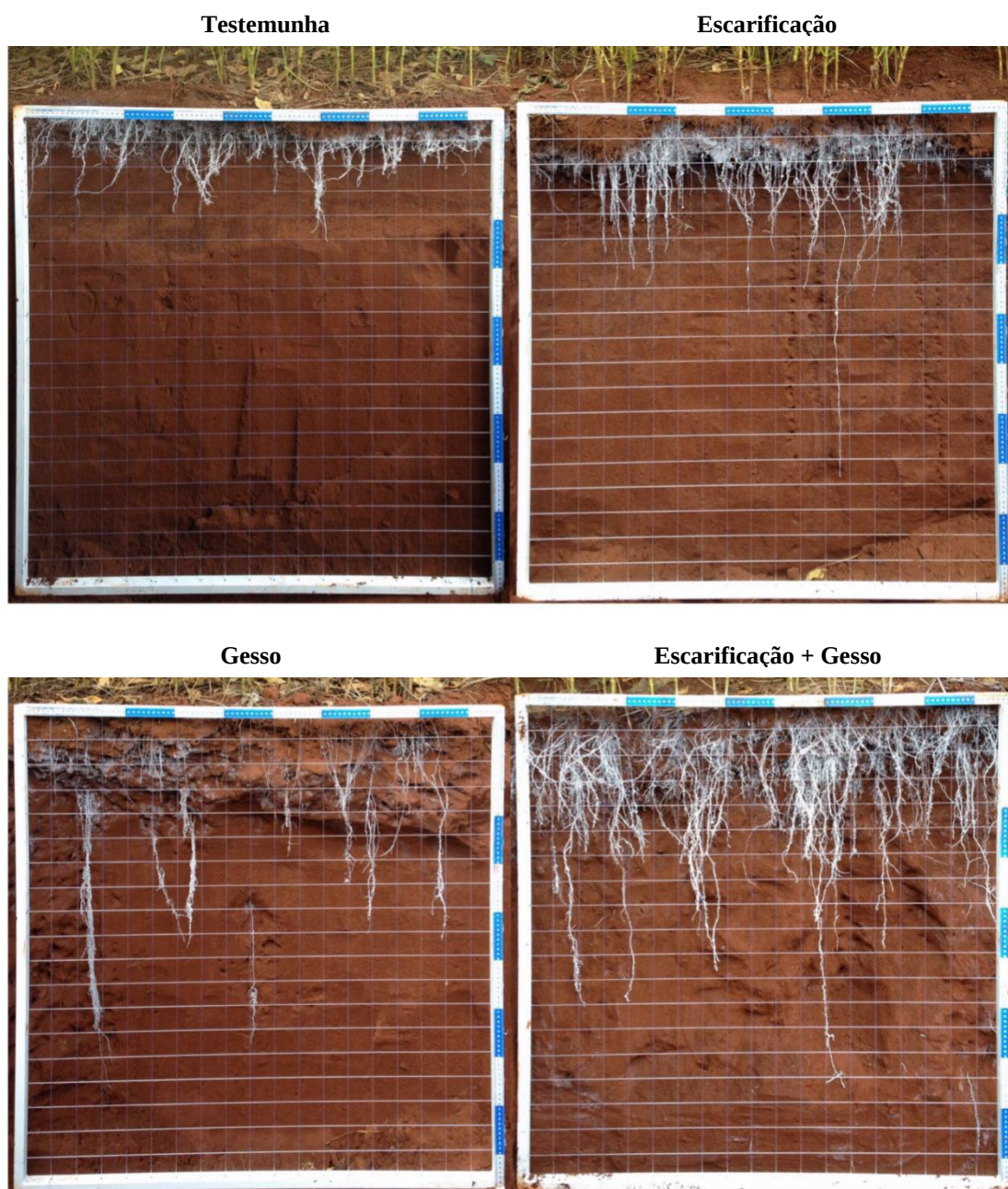


Figura 10. Distribuição radicular da cultura da soja em sistema plantio direto sob diferentes manejos (Testemunha, Escarificado, Gesso e Escarificado + Gesso). Dimensão da quadrícula: 0,05 x 0,05 m.

No (E + G) observa-se um volume de raízes maior em relação aos demais, o que demonstra visualmente ser esse o melhor tratamento em relação à quantidade de raízes, que alcançaram até 0,40-0,45 m de profundidade. Este fato ocorre possivelmente devido a escarificação que rompeu as camadas compactadas, e o gesso que fornece o cálcio em profundidade, aprofunda o sistema radicular, aumenta o volume de raízes e melhora a distribuição do sistema radicular no perfil do solo, conforme sugerem os resultados obtidos por Caires et al. (2003).

No tratamento (G) apresenta-se poucas raízes, porém um aprofundamento das mesmas, através de bioporos no perfil do solo. Os bioporos denominados canalículos são oriundos da decomposição de raízes ou pela atividade da fauna que povoa o solo como minhocas, formigas. Essas fendas e canais entre os agregados ou estruturas maiores, fazem com que as raízes sigam predominantemente esses caminhos, principalmente quando a compactação é elevada (Torres & Saraiva, 1999). Além de a raiz seguir por estes bioporos tem o papel fundamental do gesso que faz este aprofundamento do sistema radicular.

4.4 CONCLUSÕES

O plantio direto adotado há 15 anos proporcionou um acúmulo de nutrientes na camada superficial, independente do manejo adotado.

A escarificação proporcionou um aumento da porosidade do solo, em especial a macroporosidade, que é um indicador físico de grande influência na determinação da produtividade da soja em plantio direto.

A escarificação diminuiu a resistência do solo a penetração e incrementou a produtividade de grãos da soja.

O gesso associado a escarificação promoveu um aumento no volume e no aprofundamento de raízes no perfil do solo.

A densidade do solo é um indicador físico inversalmente proporcional a produtividade da cultura da soja, pois com seu aumento ocorre uma redução na produtividade da cultura.

4.5 REFERÊNCIAS

ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. D. P.; MONTANARI, R.; BASSO, F. C.; PARIZ, C. M.; AZENHA, M. V.; VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 520-526, 2010.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; NETO, M. L. T.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 365-371, 2004.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 205-217, 1997.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p.

CAIRES, E.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.; KUSMAN, M. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. D. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 pp.

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

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

FAVARETTO, N.; NORTON, L. D.; BROUDER, S. M.; JOERN, B. C. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium effects on plant nutrition under conditions of intensive nutrient extraction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 173, n. 2, p. 108-118, 2008.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

KAMIMURA, K. M.; ALVES, M. C.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. D. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo do arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 723-731, 2009.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-372, 2008.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 531-539, 2014.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimophysics**, Pretoria, v. 4, p. 1-5, 1972.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

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

SANTOS, M. L.; DE PASSOS, M.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, 2006.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; 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**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

STOLF, R., FERNANDES, J., FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n. 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 229-235, 1991.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina, **Embrapa Soja. Circular Técnica**, 1999.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTRO, J. C.; DA COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1255-1264, 2002.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo indicou que os benefícios da escarificação são transitórios, pois 60 dias após a escarificação constatou-se uma redução da resistência a penetração, mas com 390 dias após a escarificação estes valores já começam a aumentar novamente. A escarificação afetou de forma positiva a macroporosidade e a porosidade total na camada de 0-0,10 m. A densidade do solo em relação a produtividade se mostrou inversamente proporcional com seu aumento a ocorre decréscimos na produtividade. A macroporosidade é um indicador físico de grande influência na determinação da produtividade da soja em plantio direto. O uso do gesso agrícola proporcionou um aumento no volume das raízes assim como sistemas radiculares mais profundos.