

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM
SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE
ENTRESSAFRA DA CULTURA DA SOJA**

Autor: José Fausto Guimarães Silva
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Rio Verde – GO
Outubro – 2012

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM
SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE
ENTRESSAFRA DA CULTURA DA SOJA**

Autor: José Fausto Guimarães Silva
Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde - Área de concentração Ciências Agrárias.

Rio Verde – GO
Outubro – 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Fausto Guimarães Silva, José.

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE ENTRESSAFRA DA CULTURA DA SOJA / José Fausto Guimarães Silva. - 2012.

xiv, 45 f. : figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano; Co-orientadora: Dr^a Kátia Aparecida Pinho da Costa

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, 2012.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM
SISTEMAS DE MANEJO NO PERÍODO DE
ENTRESSAFRA DA CULTURA DA SOJA**

Autor: José Fausto Guimarães Silva
Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias – Área de concentração Ciências Agrárias – Ciências Agrárias

APROVADA em 29 de outubro de 2012.

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Avaliador externo
UFG/GO

Prof. Dr. Vinícius de Melo Benites
Avaliador externo
EMBRAPA/Solos

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano
Presidente da Banca
IF Goiano/RV

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela oportunidade de vida, portas abertas durante minha caminhada e por toda proteção.

À família, que sempre esteve ao meu lado, dando apoio, meu pai Aldeson Alves da Silva e minha mãe Irma Guimarães Silva, meus irmãos Fabiano Guimarães Silva e Flávia Guimarães Silva.

Ao Instituto Federal Goiano Câmpus Rio Verde e especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, coordenação e docentes, pela oportunidade de realização deste estudo.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo e apoio financeiro à execução deste trabalho, por meio do Edital CAPES 27/2010 - Pró-Equipamentos Institucional.

Ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano, pela dedicação, conhecimentos, sabedoria e confiança passados durante todo processo de formação acadêmica até a conclusão deste trabalho e também pelo apoio e amizade.

Ao Professor Dr. Wilson Mozena Leandro e também ao Dr Vinícius de Melo Benites, membros da Banca Examinadora, pela avaliação e sugestões apresentadas a este trabalho.

Aos Professores Adriano Jakelaitis e Marconi Batista Teixeira, pelas sugestões na avaliação do projeto de dissertação.

Ao Centro Tecnológico (CTC) da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO), pela contribuição para a execução dos trabalhos de campo.

Aos meus amigos do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, José Flávio Neto e Wainer Gomes Gonçalves, pelo auxílio nas análises, amizade, convívio e principalmente pela força naqueles momentos de dificuldades.

Ao colega José Carlos Bento, pelo auxílio na realização das análises químicas do solo e também a Carla Eloize Carducci na realização das análises de retenção de água.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Física do Solo, Felipe, Luís Carlos, Denner, Renata, Marina, Gean, Wellington, Gabriel e Rângelis, que colaboraram de várias formas para que este trabalho fosse concluído, além da amizade muito importante.

A todos os amigos que sempre estiveram ao meu lado com incentivos tão importantes.

À minha namorada Aline Gobbi Dutra, que chegou à minha vida para somar alegria, amor e pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

De coração, muito obrigado a todos!

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOSÉ FAUSTO GUIMARÃES SILVA, filho de Aldeson Alves da Silva e Irma Guimarães Silva, nasceu no dia 19 de março de 1981, em Rio Verde, Goiás.

No ano de 1998, iniciou o curso de Técnico em Zootecnia na Escola Agrotécnica Federal de Rio Verde-GO, atual Instituto Federal Goiano – Câmpus de Rio Verde, finalizando em dezembro de 2000.

Em 2002, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), graduando-se em 2009.

Em agosto de 2010, iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, no Instituto Federal Goiano – Câmpus de Rio Verde, sob a orientação do Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano, concluindo em 29 de outubro de 2012.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS -----	vi
ÍNDICE DE FIGURAS -----	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS -----	viii
RESUMO -----	x
ABSTRACT -----	xii
INTRODUÇÃO GERAL-----	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	3
Evolução da Agricultura na Região do Cerrado -----	3
Dinâmica estrutural e agregação do solo -----	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	8
OBJETIVOS GERAIS -----	15
MATERIAL E MÉTODOS -----	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	21
CONCLUSÕES -----	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	33

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, cultivado em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.....	16
Tabela 2. Descrição e histórico de uso e manejo do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, cultivado em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.....	17
Tabela 3. Atributos químicos e teores de matéria orgânica do solo (MOS) do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.....	22
Tabela 4. Diâmetro médio geométrico (DMG) e classes de agregados do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.	24
Tabela 5. Distribuição temporal da Densidade do solo (Ds) e de poros por tamanho do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades e em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) diária durante o ciclo da cultura da soja, no município de Rio Verde, Goiás.....	19
Figura 2. Variação do conteúdo de água no solo (θ , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) em profundidade para os limites críticos de ponto de resistência do solo à penetração (θ_{RP}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), capacidade de campo (θ_{CC}) e porosidade de aeração (θ_{PA}), do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja. IHO: intervalo hídrico ótimo.....	28
Figura 3. Produtividade de grãos de soja em diferentes sistemas de manejo do solo na entressafra em um Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás.....	30

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

θ	----- conteúdo de água ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)
θ_{CC}	----- conteúdo de água na capacidade de campo a -6 kPa
θ_{PMP}	----- conteúdo de água no ponto de murcha permanente a -1500 kPa
θ_{RP}	----- conteúdo de água na resistência do solo à penetração a 2,5 MPa
θ_{PA}	----- conteúdo de água na porosidade de aeração a 10% ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)
$^{\circ}\text{C}$	----- graus Celsius
%	----- por cento
ABC	----- agricultura de baixo carbono
AD	----- água disponível
Al	----- alumínio
Aw	----- verão chuvoso
Ca	----- cálcio
cm	----- centímetro
$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$	----- centimol de carga por decímetro cúbico
dm^{-3}	----- decímetro cúbico
$\text{dm}^{-3}\text{dm}^{-3}$	----- decímetro cúbico por decímetro cúbico
Dp	----- densidade de partículas (kgdm^{-3})
Ds	----- densidade do solo (kgdm^{-3})
Dsc	----- densidade do solo crítica (kgdm^{-3})
Fe	----- ferro
gkg^{-1}	----- gramas por quilo
ha	----- hectare
H + Al	----- hidrogênio mais alumínio
IAP	----- integração agricultura-pecuária
kgha^{-1}	----- quilogramas por hectare
kPa	----- quilopascal
Ki	----- relação molecular ($\text{SiO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$)
Kr	----- relação molecular $\text{SiO}_3: (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$
K	----- potássio
Kg	----- quilograma
Mg	----- magnésio

<i>m</i>	-----saturação por alumínio
m	----- metro linear
m ³	----- metro cúbico
mm	-----milímetro
mg·dm ⁻³	----- miligrama por decímetro cúbico
M.O.	----- matéria orgânica
MPa	----- megapascal
pH	----- potencial de hidrogênio da solução do solo
P(Mel)	----- fósforo Melich (mg·dm ⁻³)
RP	----- resistência do solo à penetração
SPD	----- sistema Plantio Direto

RESUMO

SILVA, José Fausto Guimarães. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, julho de 2012. Atributos físico-hídricos do solo em sistemas de manejo no período de entressafra da cultura da soja. Orientador: Dr. Eduardo da Costa Severiano

Sistemas de manejo que contemplem a produção de palhada para o plantio direto e atua na mitigação edáfica sem, contudo, modificar a cadeia produtiva da região do Cerrado podem ser considerados a chave para a atividade agrícola nesta região sem a contrapartida da degradação ambiental. Este trabalho objetivou avaliar os atributos químicos e físico-hídricos de um Latossolo Vermelho distrófico e a produtividade da soja no município de Rio Verde, Goiás, sob diferentes sistemas de manejo do solo na entressafra da cultura da soja, após 5 anos da implantação. Foram avaliados os seguintes sistemas de manejo do solo, seguindo o delineamento em blocos casualizados: 1. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu como planta de cobertura; 2. Safrinha de Milho consorciada com *Brachiaria ruziziensis*; 3. Safrinha de Milho em sistema plantio direto; e 4. Solo sob pousio após a colheita da soja. Outro tratamento sob vegetação natural de Cerrado (5. Mata) situado ao lado foi considerado referência. Foram feitas amostragens de solo até 40 centímetros de profundidade, utilizadas na avaliação dos atributos químicos e no diagnóstico estrutural do solo. Avaliou-se ainda o rendimento de grãos em decorrência do manejo adotado. Os resultados mostraram que as principais melhorias do solo ocorreram até 10 cm. O teor de matéria orgânica no solo aumentou nas camadas superficiais do solo com o cultivo de *Brachiaria*, trazendo benefícios em termos de agregação do solo. O cultivo de *B. brizantha* como planta de cobertura a médio e longo prazo aumentou a disponibilidade hídrica do solo, quantificado pela

amplitude do intervalo hídrico ótimo. Consequentemente, o rendimento de grãos de soja sob este manejo apresentou ganhos de produtividade em relação aos demais sistemas avaliados. Com base nesses resultados, é possível concluir que a intensificação do uso do solo no período de entressafra das culturas de verão pode ser considerada uma medida-chave para a atividade agrícola na região do Cerrado.

Palavras-chave: *Brachiaria*, safrinha, sistema plantio direto, agregação, Intervalo Hídrico Ótimo, disponibilidade hídrica

ABSTRACT

SILVA, José Fausto Guimarães. Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Rio Verde Câmpus, 2012, October. Physico-hydric attributes of soil in management systems in soybean off-season crop. Adviser: Dr. Eduardo da Costa Severiano.

Management systems that consider the production of straw to no-tillage and act in edaphic mitigation, without, however, changing the production chain of Cerrado region may be considered the key for agricultural activity in this region without the counterpart of environmental degradation. This study aimed to evaluate the chemical and physico-hydric attributes of a Dystrophic Red Latosol and soybean yield in Rio Verde Municipality, Goiás State, Brazil, under different soil management systems in the soybean off-season crop after 5 years of implantation. Soil management systems in the randomized block design were evaluated as: (1) *Brachiaria brizantha* cv. Marandu as cover crop; (2) Second crop of corn intercropped with *Brachiaria ruziziensis*; (3) Corn off-season crop under no-tillage system; and (4) Soil under fallowing after soybean harvest. Another treatment under natural vegetation of the Cerrado (5. Mata) situated beside it was considered reference. Soil samples of up 40 cm deep were performed and were used in the evaluation of the chemical attributes and soil structural diagnosis. Grain yield as result of the adopted management was evaluated. Results showed that the main improvements of the soil were up to 10 cm. The content of organic matter in the soil increased in the surface layers of soil with cultivation of *Brachiaria*, bringing benefits in terms of soil aggregation. The cultivation of *B. brizantha* as cover plant in the medium and long term increased the soil water availability, quantified by the magnitude of the optimal water range. Consequently, the soybean grains yield under this management showed gains in productivity compared to other systems. Based on these results, it is possible to conclude that the intensification of soil use in the off-season of summer crops may be considered a key measure for agricultural activity in the Brazilian Cerrado region.

Key words: *Brachiaria*, off season cropping, no-tillage system, aggregation, Least Limiting Water Range, water availability

INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, o Brasil vem se firmando como uma das grandes potências agrícolas mundiais. Isso se deve à incorporação de tecnologias intensivas de cultivo referentes ao uso de insumos e à realização de operações mecanizadas no processo produtivo, viabilizando a expansão da fronteira agrícola para regiões até então marginalizadas, com destaque para a região do Cerrado.

Observa-se, nesta região, crescente pressão econômica para a abertura de novas áreas agricultáveis visando à produção de commodities, uma vez que solos com elevado potencial agrícola recobrem a paisagem, a exemplo dos Latossolos (Macedo, 1996; Reatto et al., 2007).

Por esse motivo, a atividade agrícola tem sido bastante estudada por vários pesquisadores, focando no desenvolvimento de sistemas de produção conservacionistas que favorecem melhorias nos atributos do solo (Marchão et al., 2009). Tais sistemas focam a mitigação das emissões de gases de efeito estufa no âmbito do plano de agricultura de baixo carbono. Estima-se, como meta a ser cumprida por meio deste plano, a adoção de tecnologia de produção sustentável em mais de 25 milhões de hectares (Cerri et al., 2012).

Nesse contexto, destaca-se o sistema conservacionista de plantio direto, baseado no revolvimento mínimo do solo, restrito ao sulco de plantio, com rotação de culturas e uso associado de herbicidas para o controle de plantas daninhas, formação e manutenção de cobertura morta, que resulta em menores taxas de decomposição e acúmulo do material orgânico em superfície (Guareschi et al., 2012). Este sistema se destaca ainda pela maior proteção aos agentes erosivos (Andrade et al., 2009) e manutenção da disponibilidade hídrica do solo pela redução da evaporação da água armazenada no perfil (Blainski et al., 2012).

Por outro lado, a topografia suavizada faz desta uma região potencialmente apta ao desenvolvimento de uma agricultura mecanizada, sendo observado o tráfego intenso de maquinário em condições de umidade do solo inadequadas. Nessas condições, o solo apresenta baixa capacidade de suporte de carga, tornando-se vulnerável à compactação (Oliveira et al., 2003; Severiano et al., 2011).

Esse processo tem sua origem na compressão do solo não saturado, durante a qual a densidade do solo sofre um incremento em função da redução no volume de poros ocupados pelo ar, sendo responsável ainda pela redução da aeração do solo e aumento da resistência do solo à penetração das raízes, alterando assim a disponibilidade de oxigênio, água e nutrientes, pois sua mobilidade depende dos fluxos ocorridos no espaço poroso (Grable e Siemer, 1968; Silva et al., 2006; Kadžienė et al., 2011; Silveira et al., 2011). Dessa forma, a compactação pode reduzir a produtividade das culturas pela alteração das propriedades químicas e físico-hídricas e até biológicas do solo (Araújo, et al., 2007; Brancalião e Moraes, 2008; Magalhães et al., 2009; Carneiro et al., 2009; Silva et al., 2011).

Considerando a importância da cadeia produtiva da soja (*Glycine max*) no agronegócio brasileiro (Beutler et al., 2006), faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas de manejo que contemplem a produção de palha para o plantio direto e, ainda, que atuem na mitigação dos efeitos edáficos prejudiciais decorrentes dos cultivos de verão (Beutler et al., 2008; Pacheco et al., 2011; Chioderoli et al., 2012), sem, contudo, substituir a referida cultura.

Nesse contexto, a intensificação do uso do solo com rotação de culturas restritas ao período de entressafra, associado a sistemas conservacionistas de produção, pode ser a chave para a manutenção da qualidade e sustentabilidade agrícola, reduzindo a pressão por abertura de novas áreas e, conseqüentemente, aumentando a preservação da biodiversidade da região (Galharte e Crestana, 2010).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e físico-hídricos de um Latossolo Vermelho distrófico e a produtividade da soja no município de Rio Verde, Goiás, sob diferentes sistemas de manejo do solo, na entressafra da cultura da soja, após 5 anos da implantação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Evolução da agricultura na região do Cerrado

O processo de exploração agrícola da região do Cerrado seguiu a construção de Brasília, e a atividade agropecuária vem transformando rapidamente suas paisagens, notadamente após o desenvolvimento de tecnologias de produção em larga escala. Entretanto, essas atividades se tornam preocupantes devido aos impactos sociais e ambientais causados (ISPN, 2012).

A partir dos anos 60, tornou-se imperiosa a expansão da fronteira agrícola para essa região, com destaque para a produção de grãos, respondendo por mais de 50% da produção de soja e milho do Brasil. Vários são os problemas referentes ao uso do recurso solo, tendo consequências no aquecimento global, na qualidade da água, na biodiversidade e na capacidade produtiva, fazendo-se necessário encontrar estratégias de manejo que minimizem o impacto negativo ao meio ambiente.

As práticas de manejo indispensáveis à cadeia produtiva têm proporcionado, em menor ou em maior intensidade, alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Quando feitas sem planejamento, particularmente no que se diz respeito ao conteúdo de água no solo por ocasião do tráfego de máquinas, estas práticas promovem a compactação do solo (Silva et al., 2006; Beutler et al., 2006; Rosa et al., 2003).

Assim, tráfego de máquinas com controle de umidade é fundamental para a sustentabilidade da atividade agrícola, principalmente quando é considerado um dos fatores primordiais de degradação de sua estrutura (Severiano et al., 2011), trazendo, como consequência, redução da capacidade produtiva (Reichert et al., 2009) e aumento dos processos erosivos (Krümmelbein et al., 2008). Desta forma, pesquisas são cada vez

mais necessárias visando à produção adequada de alimentos sem a contrapartida da degradação ambiental.

Tais estudos vêm focando o desenvolvimento de sistemas de produção conservacionistas que favorecem melhorias nos atributos do solo, podendo citar o plantio direto e a integração lavoura-pecuária. Esses sistemas focam a sustentabilidade do meio ambiente por se tratar de modelos de agricultura de baixo carbono.

Nesse contexto, destaca-se o sistema conservacionista de Plantio Direto (SPD), que surgiu na década de 70 no sul do Brasil para controlar a erosão hídrica, fruto do trabalho conjunto de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras e segmentos técnicos interessados em reverter o processo acelerado de degradação do solo e dos mananciais hídricos (Lopes et al., 2004). Esse sistema se baseia no revolvimento mínimo do solo, restrito ao sulco de plantio, com rotação de culturas, e no uso associado de herbicidas para o controle de plantas daninhas, formação e manutenção de cobertura morta, o que resulta em menores taxas de decomposição e acúmulo do material orgânico em superfície (Guareschi et al., 2012), além da maior proteção aos agentes erosivos (Andrade et al., 2009) e da manutenção da disponibilidade hídrica do solo pela redução da evaporação da água armazenada no perfil (Blainski et al., 2012).

Por outro lado, o impacto no uso da terra e as práticas de manejo do solo devem ser avaliados com base em dados oriundos de experimentos de longa duração. Isso porque, segundo Landers (2000), a evolução do sistema de plantio direto ocorre em diversas etapas. Inicialmente (0-5 anos), o solo apresenta um baixo teor de matéria orgânica, devido ao baixo aporte de palha na superfície e rearranjo estrutural. O início de acúmulo de carbono no sistema atua na reagregação do solo (etapa de transição: 5-10 anos), resultando na sua consolidação (10-20 anos), no qual se observam teores de matéria orgânica semelhantes aos ecossistemas naturais, adequada cobertura morta na superfície do solo e maior disponibilidade hídrica no solo pela maior retenção de água e menores taxas de evaporação. Com a manutenção do sistema (>20 anos), as dependências externas por corretivos e fertilizantes tornam-se menores, em função das transformações bioquímicas e ciclagem dos elementos no solo.

Esse modelo pode ser aplicado a diversos estudos, como o desenvolvido por Assis e Lanças (2005). Avaliando o efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto (até 12 anos), comparativamente com área de mata nativa e preparo convencional, usando atributos físicos do solo em um Nitossolo Vermelho distroférico, esses autores

observaram agregação crescente com o tempo de adoção do sistema plantio direto, em decorrência das práticas de manejo adotadas: preparo do solo, adição de materiais orgânicos e histórico cultural da área.

Avaliando a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e as alterações nos atributos químicos e físicos do solo, em áreas sob SPD com diferentes tempos de implantação, Guareschi et al. (2012) observaram maior porosidade do solo, acúmulo de palhada e aumento nos teores de fósforo, carbono e nitrogênio em função do tempo de implantação do SPD, atingindo valores semelhantes à área de cerrado para alguns atributos avaliados com 20 anos de implantação do sistema.

Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2004), que, ao avaliarem um Latossolo Vermelho do planalto central brasileiro, submetido ao uso e ao manejo diferenciados por 20 anos, constataram melhorias químicas (aumento nos teores de carbono orgânico e de cátions básicos) e físico-hídricas (aumento na disponibilidade de água e maior agregação do solo) no sistema de semeadura direta.

Dinâmica estrutural e agregação do solo

Considerando que as culturas agrícolas requerem para seu adequado desenvolvimento um solo bem estruturado, que propicie adequadas condições de aeração, retenção de água e disponibilidade de nutrientes, além do favorecimento à penetração de suas raízes, têm sido observadas relações diretas entre a história da degradação da estrutura do solo e a consequente queda de produção das culturas (Rezende, 1997).

De acordo com Marshall (1962), a estrutura do solo é definida como o arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas, incluindo ainda o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados formados pelas partículas primárias, que se agrupam em unidades com limites definidos. Este espaço poroso tem sido classificado em macroporos (maior que 50 μm de diâmetro), que caracterizam os poros de aeração e drenagem, e microporos (entre 0,5 e 50 μm de diâmetro), cuja função é o armazenamento da água, fundamental para a vida das plantas e organismos do solo (Severiano, 2010).

Solos que apresentam maiores quantidades de matéria orgânica ou sistemas que preservam a estrutura do solo favorecem a melhor agregação das partículas unitárias, melhorando a sua qualidade (Castro Filho et al., 1998; Salton et al., 2008; Garcia e

Rosolem, 2010). Nesse contexto, destacam-se os sistemas de Plantio Direto (Oliveira et al., 2003) e a Integração Agricultura-Pecuária (Marchão et al., 2007; Costa et al., 2009).

Embora o sistema conservacionista plantio direto ocasione maior compactação da camada superficial do solo causada pela ausência de seu revolvimento (Stone e Silveira, 2001), sua utilização proporciona acúmulo de resíduos culturais na superfície, possibilitando maior agregação (Bonini et al., 2012; Castro Filho et al., 1998; Costa et al., 2003).

Assim, as diversas práticas agrícolas atuam diretamente na dinâmica estrutural do solo. Quando feito inadequadamente, o manejo promove alterações em vários atributos físicos, que interagem entre si, com a conseqüente alteração no ambiente de crescimento das plantas.

Até recentemente, a avaliação da qualidade física do solo era assunto tratado de maneira genérica e qualitativa. Nos últimos anos, o reconhecimento da importância dessa qualidade, em termos agronômicos e ambientais, proporcionou o avanço das pesquisas, culminando no desenvolvimento de indicadores quantitativos da qualidade estrutural do solo (Silva et al., 2010).

Nesse contexto, o intervalo hídrico ótimo (IHO) é um indicador da qualidade física do solo, definido como a amplitude do conteúdo de água no solo, na qual o potencial mátrico, oxigênio e resistência mecânica não são limitantes para o crescimento de plantas (Silva et al., 2006). É considerado um indicador que abrange, em torno de um único parâmetro, três fatores físicos que afetam diretamente a produtividade agrícola: água, ar e resistência à penetração do sistema radicular (Imhoff, 2002).

A quantificação do IHO exige a determinação dos limites superiores e inferiores de água disponível às plantas. Os limites superiores são determinados pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo (θ_{CC}) ou à porosidade de aeração (θ_{PA}), e os limites inferiores, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou pelo conteúdo de água no solo que promove resistência do solo à penetração limitante ao desenvolvimento radicular (θ_{RP}).

O risco de exposição das culturas ao déficit hídrico depende dessa amplitude (Silva e Kay, 1997). Nesse cenário, o IHO significa grande avanço nos estudos de biofísica do solo, sendo o indicador que melhor se correlaciona ao crescimento das plantas (Tormena et al., 2007), podendo variar desde a água disponível às plantas ($IHO = AD = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$), até as condições críticas ao desenvolvimento das plantas ($IHO = 0$).

Em último caso, para qualquer conteúdo de água no solo, ocorrerá limitação física para o desenvolvimento das culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.411–418, 2009.

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

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.515-522, 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.787-794, 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; FREDDI, O.S. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1591-1600, 2008.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.329–336, 2012.

BRANCALIÃO, S.R.; MORAES, M.H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.393-404, 2008.

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

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

CERRI, C.C.; CARVALHO, J.L.N.; NASCIMENTO, A.M.; MIRANDA, S.H.G. Agricultura de baixo carbono. O que a ciência do solo tem a ver com isso? **Boletim Informativo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo)**, v. 37, p. 13-19, 2012.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.37–43, 2012.

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

COSTA, A.C.; ALBURQUEQUE, J.A.; MAFRA, A.L; SILVA, F.R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33 p.235-244, 2009.

GALHARTE, C.A.; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária: Aspecto conservação ambiental no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1202–1209, 2010.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, p.1489-1498, 2010.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, v.32, p. 180-186, 1968.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.909-920, 2012.

IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA (ISPN). **Ver o Cerrado com outros olhos**. Brasília: 2012. Disponível em: <http://www.ispn.org.br/o-cerrado/ver-o-cerrado-com-outros-olhos>.

KADŽIENĖ, G.; MUNKHOLM, L.J.; MUTEGI, J.K. Root growth conditions in the topsoil as affected by tillage intensity. **Geoderma**, v.166, p.66-73, 2011.

KRÜMMELBEIN, J.; PETH, S.; HORN, R. Determination of pre-compression stress of a variously grazed steppe soil under static and cyclic loading. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 139-148, 2008.

LANDERS, J.N. Situação do plantio direto. **In:** Curso de especialização por tutoria a distância. Modulo 1. Brasília, DF: ABEAS / UnB, 93 p, 2000.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo.** Anda - Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo – SP, 2004.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. **In:** ALVARES V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F., ed.. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. p.135-155, 1996.

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, p.68-76, 2009.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SÁ, M.A.C; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42 p.873-882, 2007.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, v.103, p. 442-450, 2009.

MARSHALL, T.J. The nature, development, and significance of soil structure. **In:** NEALE, G.J. (Ed.). Transaction of joint meeting of comissions IV e V (ISSS). Palmerston North, New Zealand, 1962. p. 243-257.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.291-299, 2003.

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

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.17-25, 2011.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; MARTINS, E. S.; BROSSARD, M. Hydraulic properties of the diagnostic horizon of Latosol of a regional toposequence across the Brazilian central plateau. **Geoderma**, v.139, p.51-59, 2007.

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**, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

REZENDE, J.O. Compactação e Adensamento do Solo, Metodologia para Avaliação e Práticas Agrícolas Recomendadas. **In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (Palestra)**. Viçosa, SBCS, 1997. n.p.

ROSA, M.E.C.; OLSZEWSKI, N; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M.; CORREIA, J.R. Formas de carbono em latossolo vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.911-923, 2003.

SALTON, J.C; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SEVERIANO, E. C. **Alterações estruturais de latossolos representativos da região do cerrado e potencial de uso de solos cultivados com cana-de-açúcar.** 2010. 148p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P., SILVA, F.G.; FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.773-782, 2011.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, v.61, p.977-883, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Least Limiting Water Range of Soils. **In:** Lal, R. (Org.). Encyclopedia of Soil Science. New York, 2006. v. 1, p. 1026-1029.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade Física do Solo. **In:** van Lier, Q.J. ed. Física do solo. Viçosa, p. 241-281, 2010.

SILVA, S.R.; SILVA, I.R.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S. Effect of compaction on microbial activity and carbon and nitrogen transformations in two oxisols with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1141-1149, 2011.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, J.H.; JUNIOR, M.L.; CUNHA, P.C.R. Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1170-1175, 2011.

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

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.211-219, 2007.

OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e físico-hídricos de um Latossolo Vermelho distrófico e a produtividade da soja no município de Rio Verde, Goiás, sob diferentes sistemas de manejo do solo na entressafra da cultura da soja, após 5 anos da implantação.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em áreas pertencentes ao Centro Tecnológico (CTC) da Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO), localizado no município de Rio Verde, Goiás (latitude 17° 45' S; longitude 51° 02' W, e altitude de 840 m) e no Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGoiano), Câmpus Rio Verde.

Adotando os critérios propostos por Köeppen, o clima é classificado como Tropical de Savana, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), com média pluviométrica anual acima de 1600 mm. O fenômeno “veranico” ocorre em plena estação chuvosa, normalmente com duração de cerca de 10 a 15 dias, podendo, eventualmente, prolongar-se por um tempo maior.

O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico de mineralogia oxídica-gibbsítica, classificado conforme Embrapa (2006) (Tabela 1) envolvendo diferentes sistemas de manejo do solo e seguindo o delineamento em blocos casualizados. Outro tratamento sob vegetação natural de Cerrado, situado ao lado, foi conduzido como referência.

Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, cultivado em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.

Profundidade (cm)	Dp ¹ (kg dm ⁻³)	Granulometria ²			Ataque sulfúrico ³				
		Argila	Silte	Areia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr
0-20	2,66	355	67	578	87	205	63	0,72	0,60
20-40	2,65	379	62	559	92	213	78	0,73	0,60

¹: Determinada pelo método do balão volumétrico. Média de 16 repetições; ²: Determinada pelo método da pipeta. Média de 16 repetições; ³: Média de 3 repetições; Dp: Densidade de partículas; Ki: relação molecular (SiO₂/Al₂O₃); Kr: relação molecular SiO₂: (Al₂O₃ + Fe₂O₃).

Antes da instalação do experimento, a área era utilizada para produção agrícola de grãos em sistema de plantio direto durante 20 anos. Em 2007, foi dividida em parcelas experimentais, com dimensões de 20 metros de comprimento e 10 metros de largura e feita correção total inicial, por meio de gradagens de discos de 28 polegadas para eliminação da história de tensão.

Na sequência, procedeu-se à correção da acidez, visando a elevar a saturação por bases a 65%, através da incorporação por arado de aivecas a 30 cm de profundidade de 50 % da dose de calcário dolomítico e, ainda, 1,7 Mg ha⁻¹ complementares, por gradagem leve de discos de 22 polegadas. Nessa ocasião, foram aplicados ainda, fertilizantes que continham potássio, correspondendo a 121 kg ha⁻¹ de K₂O.

Foram avaliados quatro sistemas de manejo na entressafra da cultura da soja, descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição e histórico de uso e manejo do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, cultivado em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.

Sistema de manejo	Histórico de uso
B. brizantha	Cultivo de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu (<i>Brachiaria</i> (Trin.) Griseb. spp. syn. <i>Urochloa</i> P. Beauv. spp.) como planta de cobertura (sem pastejo) na entressafra da cultura da soja, desde 2007.
Milho + B. ruziziensis	Safrinha de Milho (<i>Zea mays</i>) consorciada com <i>Brachiaria ruziziensis</i> , desde 2007. Após a colheita da safrinha, ocorre o manejo da forrageira para produção de cobertura morta (sem pastejo) na entressafra da cultura da soja
Milho Safrinha	Safrinha de Milho em sistema plantio direto desde 2007. Solo sob pousio após a colheita da safrinha.
Pousio	Solo sob pousio após a colheita da soja, com dessecação da comunidade infestante.
Mata	Área de vegetação natural caracterizada pela fisionomia de Cerradão, apresentando serrapilheira espessa, sem intervenção antrópica, em área adjacente ao experimento.

A safra de verão avaliada foi semeada em 17/10/2011, aproximadamente 30 dias após a dessecação das parcelas, adotando a variedade de soja monsoy M7211 RR, de ciclo precoce. Em novembro de 2011, por ocasião do florescimento da cultura da soja, procedeu-se à amostragem indeformada de solo na posição das entrelinhas da cultura e

no centro de cada parcela, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com auxílio de um amostrador de “Uhland”, em cilindros com dimensões de 6,40 cm de diâmetro e 5,00 cm de altura, totalizando 80 amostras (4 sistemas de manejo de entressafra x 4 blocos x 5 profundidades), além de 20 amostras na área de mata nas profundidades supracitadas.

As amostras indeformadas foram envolvidas em filme de PVC e em laboratório, preparadas e saturadas por capilaridade com água destilada durante 48 horas, sendo então submetidas aos Potenciais Matriciais de 2, 4, 6, 33 e 1.500 kPa, via secamento, para a determinação da distribuição de poros por tamanho.

Posteriormente, foram ajustadas a conteúdos de água no solo variando de 0,03 a 0,40 cm³ cm⁻³ e submetidas ao teste de penetrometria, utilizando um penetrômetro de bancada MARCONI-MA 933, com velocidade constante de 0,1667 mm s⁻¹ e haste com cone de 3 mm de diâmetro de base e semiângulo de 30°, equipado uma célula de carga de 50 kgf ligada a um receptor acoplado a um microcomputador para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento, conforme Tormena et al. (1998).

Em seguida, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 2011a). A porosidade total (PT) foi determinada pela equação 1:

$$PT = [1 - (Ds/Dp)] \quad \text{Eq. (1)}$$

A distribuição de poros por tamanho baseou-se na equação 2, proposta por Bouma (1991):

$$D = 4 \sigma \cos\theta / \psi_m \quad \text{Eq. (2)}$$

sendo D o diâmetro do poro (mm); σ a tensão superficial da água (73,43 kPa μ m a 20 °C); θ o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como 0); e ψ_m a tensão de água no solo (kPa).

O Intervalo Hídrico ótimo (IHO) foi determinado de acordo com os procedimentos descritos em Silva et al. (2006), considerando, como limites superiores, o conteúdo de água no solo retido no potencial matricial de 6 kPa como sendo a capacidade de campo (θ_{CC}) (Severiano et al., 2011) ou aquele em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de 10 %. Como limites inferiores, foram considerados o conteúdo de água retido no potencial matricial de 1.500 kPa, o ponto de murcha permanente (θ_{PMP})

(Richards e Weaver, 1943), e/ou o conteúdo de água correspondente à resistência à penetração de 2,5 MPa (θ_{RP}) (Camargo e Alleoni, 1997).

Coletaram-se, ainda, 100 amostras de monólitos de solo, seguindo o plano amostral descrito anteriormente, para a obtenção de agregados com diâmetro entre 8,00 e 4,75 mm, fracionando a porção de solo com as mãos, observando-se ainda os pontos de fraqueza. A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento em água no aparelho de Yoder de oscilação vertical após pré-umedecimento ao estado friável, por 48 horas. Foi utilizado o diâmetro médio geométrico (DMG) como índice de agregação (Kemper e Rosenau, 1986).

As porções de solo inferior a 4,75 mm foram secas ao ar e passadas por peneiras de 2 milímetros, obtendo assim as amostras terra fina seca ao ar. Essas amostras foram utilizadas na obtenção dos atributos químicos do complexo sortivo e da matéria orgânica do solo, conforme Embrapa (2011a).

A soja foi colhida manualmente aos 114 dias, avaliando o rendimento de grãos por meio de trilhagem mecânica das vagens de todas as plantas da área útil de 3x3m (9m²) das 6 linhas centrais da parcela via batedora estacionária. A massa de grãos foi corrigida para 13% de umidade, base úmida.

Durante a condução do experimento, foram monitoradas a temperatura e a precipitação pluviométrica, cujos valores são mostrados na Figura 1.

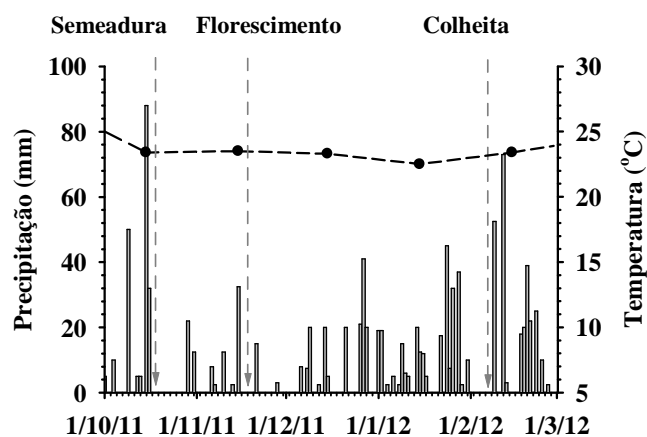


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) diária durante o ciclo da cultura da soja, Comigo, Rio Verde, Goiás.

Os resultados dos atributos químicos e físico-hídricos bem como do rendimento de grãos de soja foram submetidos à análise de variância, segundo delineamento em

blocos casualizados, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR 4.6 (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores alterações dos componentes do complexo sortivo do solo ocorreram nos primeiros 20 cm de profundidade em todos os sistemas de uso avaliados com a cultura da soja, conforme pode ser visualizado na Tabela 3. Isto se deve ao incremento da fertilidade atual do solo quando comparado à mata nativa, em função das correções químicas procedidas por ocasião da instalação dos cultivos anuais, bem como da ausência de revolvimento do solo.

Observa-se que, de maneira geral, à medida que o uso da terra no período de entressafra das culturas de verão se intensificou (pousio < milho safrinha < Milho + *B. ruziziensis* = *B. brizantha*), ocorreram melhorias das propriedades químicas, no sentido de aumento nos teores de nutrientes e redução dos elementos tóxicos (Tabela 3). Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Jakelaitis et al. (2008) e sugerem incrementos nos rendimentos dos cultivos de verão em decorrência da adoção de sistemas intensivos de produção agrícola, particularmente em função da proteção e ciclagem de nutrientes durante a decomposição da palhada dos capins cultivados no período da entressafra (Pacheco et al., 2011).

Por outro lado, destaca-se que o aumento nos valores de pH bem como dos teores de Ca e Mg atingiram camadas avaliadas em maior profundidades (20-30 e 30-40 cm, respectivamente). Conseqüentemente, os valores de saturação por bases (V) assumiram valores semelhantes e em torno de 50% até 30 cm, considerados adequados para a cultura da soja, enquanto a saturação por alumínio pode ser classificada como baixa em todos os sistemas de manejo do solo na entressafra agrícola (Sousa e Lobato, 2004). Esses resultados sugerem o efeito inicial da incorporação inicial de corretivos a 30 cm por arado de aivecas ou, ainda, a translocação desses nutrientes a camadas mais profundas, concordando com resultados encontrados por Oliveira et al. (2004).

Tabela 3. Atributos químicos e teores de matéria orgânica do solo (MOS) do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.

Sistema de manejo	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	P	K	V ⁽¹⁾	m ⁽¹⁾	MOS ⁽¹⁾	pH
	----- cmolc dm ⁻³ -----				---- mg dm ⁻³ ----		---- % ----		g dm ⁻³	(H ₂ O)
0-5 cm										
<i>B. brizantha</i>	2,80b	1,26ab	0,01b	3,32b	6,44a	104,50b	56,3a	0,2b	28,7a	5,1a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,44a	1,36a	0,01b	3,06b	5,48a	144,00a	62,9a	0,2b	28,0a	5,4a
Milho Safrinha	3,40a	0,90b	0,01b	2,79b	5,30ab	56,50bc	62,6a	0,2b	23,6b	5,5a
Pousio	2,81b	0,79b	0,01b	3,18b	4,09b	88,50b	55,0a	0,3b	23,1b	5,2a
Mata	0,13c	0,04c	1,45a	9,02a	0,64c	47,50c	3,2b	82,3a	31,43a	3,7b
5-10 cm										
<i>B. brizantha</i>	2,94ab	1,09a	0,01b	3,20b	5,84b	46,50ab	56,1a	0,3b	25,0a	5,3a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,31a	1,34a	0,01b	2,54b	3,07c	61,50a	65,6a	0,2b	22,5a	5,6a
Milho Safrinha	3,11ab	0,95ab	0,01b	2,91b	8,04a	35,50b	59,5a	0,2b	21,0a	5,6a
Pousio	2,41b	0,58b	0,01b	2,99b	1,93c	43,50ab	51,2a	0,3b	20,1a	5,3a
Mata	0,09c	0,02c	0,96a	6,31a	0,35d	32,50b	8,55b	69,5a	20,9a	3,9b
10-20 cm										
<i>B. brizantha</i>	3,28a	0,77ab	0,01b	3,06b	5,47a	28,75a	57,5a	0,2b	23,3a	5,4a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,28a	1,12a	0,01b	3,04b	4,24ab	28,50a	60,0a	0,2b	22,2a	5,5a
Milho Safrinha	3,21a	0,86ab	0,01b	2,89b	3,67b	24,75a	59,5a	0,2b	20,8ab	5,7a
Pousio	2,95a	0,66b	0,02b	2,87b	3,40b	34,00a	55,5a	0,8b	20,8ab	5,4a
Mata	0,08b	0,02c	0,78a	5,47a	0,22c	30,00a	10,9b	61,1a	16,7b	4,0b
20-30 cm										
<i>B. brizantha</i>	2,98a	0,63a	0,10b	2,77b	2,33a	37,00a	57,5a	2,1b	20,7a	5,6a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	2,24a	0,66a	0,12b	3,47ab	2,33a	31,50a	44,8a	8,7b	19,07ab	5,1ab
Milho Safrinha	2,25a	0,63a	0,12b	3,36ab	1,72a	24,00a	43,5a	10,1b	18,5ab	5,1ab
Pousio	2,40a	0,54a	0,02b	2,83b	2,20a	41,50a	52,4a	0,9b	18,8ab	5,4a
Mata	0,11b	0,01b	0,69a	4,89a	0,18b	32,25a	5,4b	72,2a	14,6b	4,1b
30-40 cm										
<i>B. brizantha</i>	0,80a	0,22ab	0,14a	3,74a	0,35a	40,25a	25,3a	15,8b	15,2a	4,8a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	0,67a	0,26a	0,21a	3,80a	0,37a	20,25a	20,0a	11,6b	14,3a	4,5a
Milho Safrinha	0,72a	0,21ab	0,20a	4,07a	0,40a	35,50a	20,4a	18,5b	13,5a	4,5a
Pousio	0,47a	0,13b	0,18a	4,11a	0,33a	36,50a	14,7a	18,4b	14,5a	4,4a
Mata	0,08b	0,01c	0,43a	4,31a	0,23a	27,50a	8,9a	43,5a	12,7a	4,1a

⁽¹⁾ T: Capacidade de Troca Catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MOS: Matéria Orgânica do Solo. Dentro de cada profundidade, as médias que apresentam a mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Em contrapartida, salienta-se que, em sistemas com ausência de revolvimento e aliado à manutenção da cobertura vegetal, os elementos de baixa mobilidade bem como a matéria orgânica tendem a se acumular nas camadas superficiais do solo (Anghinoni, 2007). Observam-se, portanto, teores de P e K superiores nessas camadas, notadamente nos sistemas com *Brachiaria* (Tabela 3), o que ser devido ao uso de capins com sistema radicular abundante, associado à constante renovação de raízes adventícias e ciclagem dos nutrientes, reduzindo ainda a adsorção de fosfato pelos colóides do solo.

Segundo Nascente e Crusciol (2012), o uso de forrageiras do gênero estudado tem o interesse de produtores e pesquisadores pela alta quantidade de resíduos produzidos e pela manutenção do sistema de produção permanentemente vivo na entressafra, em função do hábito perene. Conforme Garcia et al. (2008), em sistemas envolvendo essas gramíneas, grandes quantidades de K são retomadas pela considerável capacidade de reciclagem do nutriente, aumentando seu conteúdo nas camadas superficiais de cultivo.

Em adição, ressalta-se que, segundo McNeill e Penfold (2009), a incorporação de espécies em rotação ou consorciação, capazes de usar o P de fontes pouco solúveis, tem sido uma estratégia bem-sucedida na melhoria da eficiência de uso de P nos sistemas de produção, também podendo contribuir para ciclagem desse nutriente. Nesse contexto, sugerem-se essas habilidades pelas espécies de *Brachiaria* utilizadas nos sistemas de manejo avaliados.

Para o elemento P, em decorrência preparo inicial com aivecas, os teores apresentaram valores superiores à mata até a profundidade de 30 cm (Tabela 3). Isto se deve à maior mobilização do solo, distribuindo o nutriente utilizado nos planos de adubação anteriores à implantação do experimento de maneira uniforme na camada considerada (Silveira e Stone, 2001).

Observa-se ainda, Tabela 3, que o teor de matéria orgânica do solo (MOS) nos sistemas com *Brachiaria* na entressafra apresentou, na profundidade de 0-5 cm, valores semelhantes à mata e superiores aos sistemas de pousio e milho safrinha, e superiores à mata em camadas mais profundas e em todos os sistemas (10 a 30 cm). Esses resultados estão de acordo com Schiavo et al. (2011), mostrando, em geral, a pastagem de *Brachiaria* como planta de cobertura de solo que proporciona índices de manejo de carbono no solo mais próximos aos da vegetação de cerrado. Andrade et al. (2009) também obtiveram resultados semelhantes com o uso do capim-marandu (*B. brizantha*) como planta de cobertura em sistema de plantio direto.

Salienta-se que as práticas de manejo adotadas em sistemas integrados utilizando *brachiaria* melhoram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Silva et al., 2011; Chioderoli et al., 2012). Nesse contexto, além da melhoria na fertilidade, Tabela 3, observa-se na Tabela 4 que os sistemas de manejo estudados apresentaram elevada eficiência de agregação do solo, com valores superiores aos encontrados na mata nas primeiras camadas (até 10 cm) e semelhantes em maiores profundidades. Ressalta-se, portanto, o rearranjo da estrutura no início das alterações dos atributos químicos e no sequestro de carbono pelo solo, Tabelas 3. Segundo Landers (2000), tal comportamento é observado nos primeiros cinco anos de adoção de sistemas integrados de produção agrícola, considerada fase de implantação do plantio direto.

Tabela 4. Diâmetro médio geométrico (DMG) e classes de agregados do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.

Sistema de manejo	DMG mm	Classe de agregado (mm)					
		8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	< 0,10
0-5 cm							
<i>B. brizantha</i>	4,2a	93,6a	1,3a	1,0a	1,7b	1,5 b	0,8b
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	4,3a	94,6a	0,7a	0,8a	1,5b	1,6b	0,8b
Milho Safrinha	3,8a	88,1a	3,1a	2,4a	2,9ab	2,3b	1,1b
Pousio	3,3ab	81,8ab	4,3a	4,6a	5,0a	3,2b	1,6b
Mata	2,6b	76,9b	1,9a	2,5a	7,4a	7,4a	4,0a
5-10 cm							
<i>B. brizantha</i>	3,6a	86,4a	2,6a	2,7a	3,9a	3,0a	1,4b
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,8a	89,2a	2,3a	1,9a	2,8a	2,2a	1,5b
Milho Safrinha	2,7b	70,3b	3,0a	6,9a	8,6a	5,6a	1,8b
Pousio	2,6b	71,5b	3,7a	6,1a	7,7a	6,1a	1,9b
Mata	3,5a	88,8a	0,6a	1,1a	3,1a	3,7a	2,7a
10-20 cm							
<i>B. brizantha</i>	3,3a	82,8a	4,1a	3,6a	4,6a	3,5a	1,5a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,5a	85,9a	2,8a	2,5a	3,9a	3,1a	1,8a
Milho Safrinha	3,3a	81,7a	4,4a	3,9a	4,9a	3,6a	1,4a
Pousio	3,2a	81,2a	4,2a	3,9a	5,7a	4,5a	1,4a
Mata	3,1a	84,3a	1,2a	1,6a	4,6a	5,3a	2,9a
20-30 cm							
<i>B. brizantha</i>	2,8a	74,9a	5,3a	4,9a	7,4a	5,1a	2,3a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	2,4a	73,5a	7,5a	7,3a	9,9a	6,5a	2,7a
Milho Safrinha	2,5a	74,0a	6,5a	6,9a	9,1a	6,5a	2,0a
Pousio	3,1a	80,5a	4,1a	3,6a	5,5 a	4,6 a	1,7a
Mata	3,1a	82,9a	2,8a	2,0a	4,8 a	5,9a	1,9 a
30-40 cm							
<i>B. brizantha</i>	2,7a	72,1a	6,7a	5,9a	7,7a	5,7a	1,9a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	3,1a	79,0a	5,7a	4,1a	5,7a	4,7a	0,8a
Milho Safrinha	2,8a	73,3a	7,5a	5,9a	6,8a	4,8a	1,6a
Pousio	3,4a	84,3a	4,1a	3,0a	4,3a	3,3a	1,0a
Mata	2,9a	81,1a	1,7a	2,2a	5,5a	6,5a	3,0a

Dentro de cada profundidade, as médias que apresentam a mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Contudo, destaca-se que a inclusão de espécies *Brachiaria* nos sistemas de manejo resultou em maiores valores de DMG até 10 cm, Tabela 4, o que se deve à ação do sistema radicular dessas gramíneas. Segundo Brandão e Silva (2012), a formação de agregados no solo ocorre em etapas correspondentes à aproximação das partículas do solo, que podem ser decorrentes da ação mecânica radicular, e à estabilização entre as partículas do solo pela ação cimentante de exsudados liberados pelas plantas na sua rizosfera. Nesse sentido, os capins do gênero em estudo se destacam como agentes de consolidação das partículas do solo e aumento da estabilidade dos agregados (Macedo, 2009), notadamente quando associados a cultivos de leguminosas, principalmente a soja (Cunha et al., 2007).

Observa-se ainda que, para as camadas superficiais do solo, a ação radicular contínua dos capins durante as entressafras da soja ao longo de cinco anos de experimentação contribuiu para o aumento na proporção de agregados (> 2 mm) e redução da porcentagem dos agregados pertencentes às classes menores ($< 0,5$ mm). Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Silveira et al. (2011), que demonstraram que sucessões com braquiária no sistema de cultivo elevam a proporção de agregados do solo maiores que 2 mm.

Em adição, destaca-se que a cobertura vegetal decorrente da dessecação dos capins em áreas cultivadas com a *Brachiaria* bem como a presença de agregados maiores, além de atuar diretamente na melhoria da qualidade física do solo, conferem a ele maior resistência à erosão, tornando esses sistemas de produção resilientes do ponto de vista conservacionista (Panachuki et al., 2011).

A agressividade do sistema radicular de algumas plantas forrageiras revela seu potencial de recuperação da qualidade estrutural do solo (Lima et al., 2012b), conforme visualizado pelos atributos físicos-hídricos da Tabela 5, notadamente com relação ao cultivo de *B. brizantha* no período de entressafra agrícola. Esses resultados demonstram, portanto, que o uso do solo nas condições de estudo promoveu alterações em toda camada de 0-20 cm, Tabela 5, embora as principais ocorrências tivessem sido observadas até 10 cm.

Tabela 5. Distribuição temporal da Densidade do solo (Ds) e de poros por tamanho do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em cinco profundidades e em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja.

Sistema de manejo	Ds g cm ⁻³	Diâmetro de Poros (µm)						PT	Macro	Micro
		> 145	145-73	73-50	50-9,0	9,0-2,9 cm ³ cm ⁻³	< 2,9			
0-5 cm										
<i>B. brizantha</i>	1,36b	0,09b	0,04b	0,01a	0,08a	0,05a	0,22a	0,49b	0,14b	0,35a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	1,42a	0,09b	0,03b	0,02a	0,06b	0,04a	0,23a	0,47b	0,13b	0,34a
Milho Safrinha	1,43a	0,06c	0,02c	0,03a	0,07ab	0,04a	0,24a	0,46b	0,12b	0,34a
Pousio	1,45a	0,06c	0,02c	0,03a	0,06b	0,04a	0,24a	0,45b	0,11b	0,34a
Mata	1,08c	0,27a	0,09a	0,03a	0,01c	0,03b	0,17b	0,59a	0,38a	0,21b
5-10 cm										
<i>B. brizantha</i>	1,34b	0,11b	0,04b	0,01a	0,08a	0,04a	0,22a	0,50b	0,16b	0,34a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	1,44a	0,07c	0,04bc	0,03a	0,06b	0,04a	0,22a	0,46b	0,14b	0,32a
Milho Safrinha	1,40a	0,08c	0,03c	0,02a	0,07a	0,04a	0,23a	0,47b	0,13b	0,34a
Pousio	1,40a	0,07c	0,03c	0,03a	0,06b	0,05a	0,23a	0,47b	0,13b	0,34a
Mata	1,17c	0,21a	0,09a	0,03a	0,01c	0,03b	0,19b	0,56a	0,33a	0,23b
10-20 cm										
<i>B. brizantha</i>	1,37a	0,08b	0,03b	0,03a	0,07a	0,04a	0,23a	0,48b	0,14b	0,34a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	1,35a	0,08b	0,04b	0,04a	0,07a	0,04a	0,22ab	0,49b	0,16b	0,33a
Milho Safrinha	1,32b	0,09b	0,04b	0,03a	0,08a	0,04a	0,22ab	0,50b	0,16b	0,34a
Pousio	1,39a	0,07b	0,04b	0,04a	0,07a	0,04a	0,22ab	0,48b	0,15b	0,33a
Mata	1,27b	0,14a	0,09a	0,04a	0,01b	0,04a	0,20b	0,52a	0,27a	0,25b
20-30 cm										
<i>B. brizantha</i>	1,33a	0,09b	0,05b	0,04a	0,07a	0,04a	0,21a	0,50a	0,18b	0,32a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	1,33a	0,09b	0,06b	0,03a	0,06a	0,04a	0,22a	0,50a	0,18b	0,32a
Milho Safrinha	1,33a	0,09b	0,05b	0,04a	0,06a	0,04a	0,22a	0,50a	0,18b	0,32a
Pousio	1,33a	0,10b	0,05b	0,04a	0,05a	0,04a	0,22a	0,50a	0,19b	0,31a
Mata	1,28a	0,13a	0,12a	0,04a	0,01b	0,03a	0,19a	0,52a	0,29a	0,23b
30-40 cm										
<i>B. brizantha</i>	1,31a	0,11a	0,07b	0,03a	0,04a	0,04a	0,22a	0,51a	0,21b	0,30a
Milho + <i>B. ruziziensis</i>	1,28a	0,13a	0,07b	0,04a	0,04a	0,04a	0,20a	0,52a	0,24ab	0,28a
Milho Safrinha	1,31a	0,12a	0,06b	0,04a	0,04a	0,04a	0,21a	0,51a	0,22b	0,29a
Pousio	1,32a	0,13a	0,06b	0,03a	0,04a	0,03a	0,21a	0,50a	0,22b	0,28a
Mata	1,28a	0,12a	0,12a	0,02a	0,02a	0,04a	0,20a	0,52a	0,26a	0,26a

PT: Porosidade Total; Macro: Macroporos; Micro: Microporos. Dentro de cada profundidade, as médias que apresentam a mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observa-se que, embora a D_s tenha aumentado em decorrência da redução da PT em todos os sistemas de manejo até 20 cm de profundidade, os macroporos apresentaram valores superiores ao considerado limitante às funções edáficas, de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Oliveira et al., 2007). Por outro lado, a *B. brizantha* conferiu ao solo menores valores de D_s nas camadas superficiais avaliadas, devido a seu sistema radicular agressivo e volumoso, sendo uma estratégia viável para melhoria da estrutura do solo a médio e longo prazo (Calonego et al., 2011).

Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Flávio Neto (2012), em que o cultivo de *B. brizantha* no período de entressafra agrícola proporcionou melhoria estrutural (poros de 50 a 90) e, conseqüentemente, aumento da disponibilidade hídrica para a cultura da soja em sucessão, enquanto a *B. ruziziensis* apresentou potencial limitado de recuperação física do solo, apresentando, neste estudo, comportamento semelhante à área de pousio e às áreas cultivadas com milho (Tabela 5).

Esse fato se torna importante quando se considera a ampla utilização dessa forrageira para formação de palhada em sistemas de plantio direto na região do Cerrado, o que, segundo Giancotti (2012), se deve à facilidade de dessecação, apresentando menor entouceiramento e morte rápida, favorecendo a semeadura mecanizada.

Ainda analisando a Tabela 5, observa-se que, em todos os manejos e profundidade avaliados, a macroporosidade não foi diferente, contudo, apresentou valores inferiores à mata. Em contrapartida, quando se analisa a distribuição de poros por tamanho, os $> 73 \mu\text{m}$ destacam o efeito das espécies de *Brachiaria* em toda camada explorada pelas raízes, formando bioporos favoráveis aos cultivos em sucessão, corroborando resultados obtidos por Magalhães et al. (2009). Salienta-se ainda que a inserção do capim-marandu aumentou o volume de poros entre 50 e $9,0 \mu\text{m}$, classe esta responsável pela retenção da água prontamente disponível às plantas nas camadas superficiais.

A melhoria estrutural evidencia, portanto, a importância da inclusão de plantas forrageiras na agregação e estruturação do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular por permitir maior exploração do perfil do solo até as camadas mais profundas, em decorrência do aumento da disponibilidade hídrica para as culturas (Chioderoli et al., 2012). Considerando ainda que o manejo do solo promove alterações nos conteúdos de água no solo, na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, bem como na disponibilidade de O_2 e resistência mecânica ao sistema radicular, foi determinado o intervalo hídrico ótimo do solo (IHO) (Figura 2).

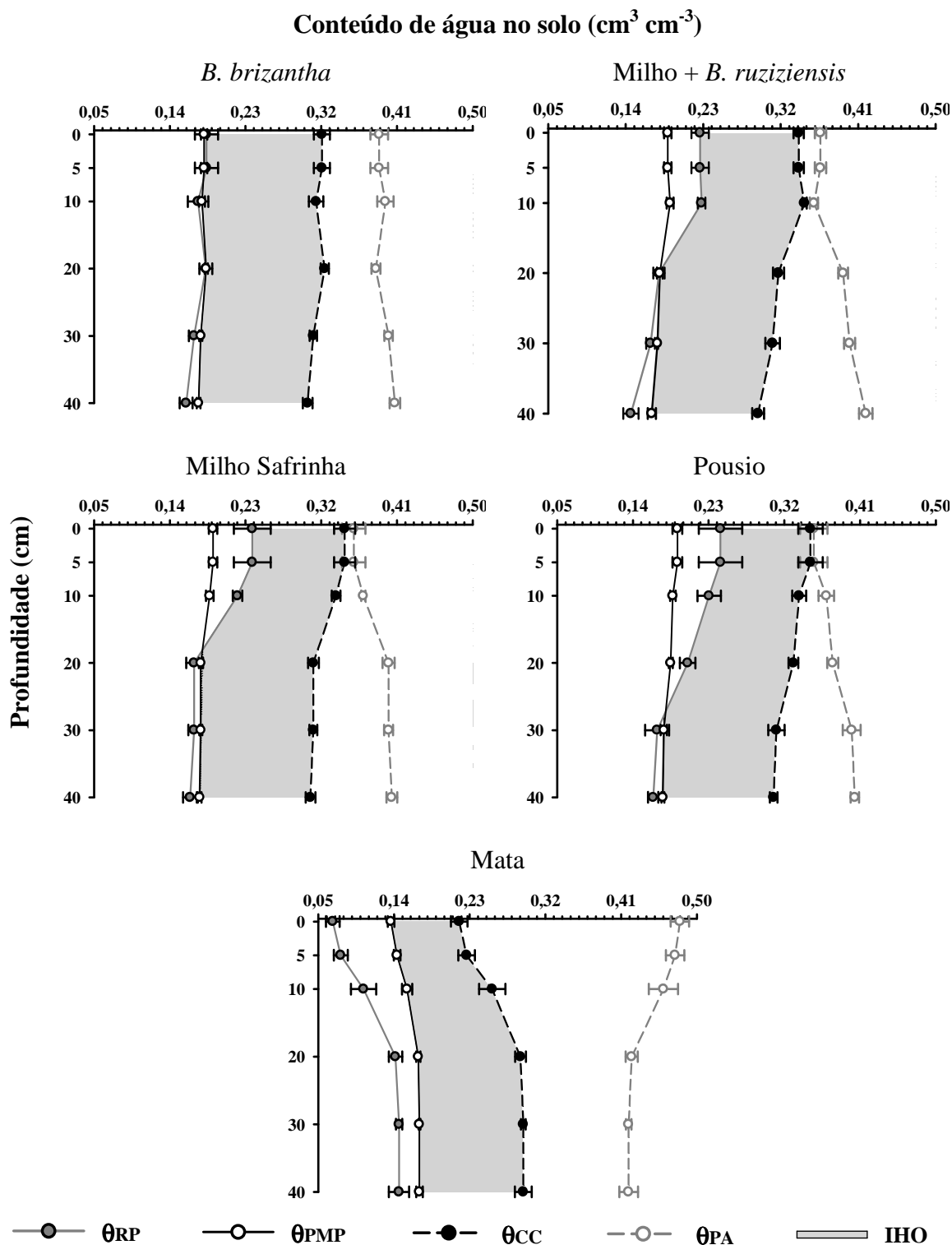


Figura 2. Variação do conteúdo de água no solo (θ , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em profundidade para os limites críticos de ponto de resistência do solo à penetração (θ_{RP}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), capacidade de campo (θ_{CC}) e porosidade de aeração (θ_{PA}), do Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás, em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na entressafra da cultura da soja. IHO: intervalo hídrico ótimo.

A análise do IHO reforça o comportamento limitado da *B. ruzizensis* em relação à estrutura do solo, que, pelo seu baixo potencial de recuperação física, reduziu a amplitude do conteúdo de água menos limitante às plantas nas camadas superficiais do solo, tendo como limite inferior da água disponível, até 20 cm de profundidade, a resistência do solo à penetração (Figura 2). Esse comportamento também foi observado para o sistema com o cultivo de milho safrinha, enquanto o sistema sob pousio apresentou limitações físicas até a profundidade de 30 cm.

Por outro lado, o cultivo de *B. brizantha* na entressafra da soja durante 5 anos promoveu melhorias estruturais no solo, resultando no aumento da amplitude do IHO em aproximadamente 25%, por promover redução da resistência à penetração a valores semelhantes ao ponto de murcha permanente. Lima et al. (2012a) também mostraram um maior IHO com o cultivo de *B. brizantha*.

Em adição, observa-se que, em todos os sistemas de manejo de entressafra estudados, a disponibilidade hídrica avaliada por meio do IHO superou a área de mata na camada superficial (0-20 cm), apresentando, entretanto, comportamento semelhante nas camadas mais profundas (20-40 cm), estando de acordo com Oliveira et al. (2004), bem como com as Tabelas 4 e 5, em que a ação de sistemas de manejo com ausência de revolvimento do solo ocorreu apenas na superfície do solo.

Esses resultados mostram que a ocorrência de uma leve compactação do solo nos sistemas de manejo estudados, e em particular sob *B. brizantha*, pode ser caracterizada como benéfica em termos de retenção de água, sem, contudo, apresentar limitações de oxigênio para o crescimento radicular das plantas na faixa da água disponível (Severiano et al., 2011), favorecendo ainda a difusão de nutrientes, particularmente o fósforo (Santos et al., 2005), em função do maior contato solo/raiz, podendo resultar no maior rendimento das culturas (Beutler et al., 2005), particularmente quando são consideradas a textura e a estrutura do solo estudado. Para os demais sistemas, o aumento da θ_{CC} foi anulado pela maior RP, não resultando em aumento do IHO.

Considerando que, sob condições naturais, do ponto de vista físico, os Latossolos oxídicos apresentam condições sub-ótimas para o crescimento das plantas, uma vez que apresentam um reduzido desenvolvimento de poros texturais (microporos), responsáveis pelos processos de retenção de água (Balbino et al., 2004; Vollant-Tuduri et al., 2005; Reatto et al., 2007) (Figura 2), sugere-se que a compactação, nesse caso,

promova a transformação de parte dos macroporos em microporos, podendo resultar, dessa forma, em incrementos na produtividade das culturas, principalmente nos anos mais secos (Richart et al., 2005; Beutler et al., 2008; Freddi et al., 2009).

Associado a este fato, destaca-se que a presença de palhada na superfície do solo durante os cultivos em sucessão, decorrente da dessecação dos capins, reduz as perdas de água por evaporação (Andrade et al., 2011) em função da menor oscilação térmica na camada superficial (Panachuki et al., 2011), contribuindo para maior disponibilidade hídrica à cultura em sucessão (Braida et al., 2006; Chioderoli et al., 2012). Analisando o regime hídrico durante o ciclo da soja, Figura 1, observa-se uma irregularidade de chuvas durante a fase vegetativa e florescimento da cultura, tornando ainda mais relevante a adoção de plantas de cobertura no manejo de entressafra para produção de palhada (Pacheco et al., 2011).

De acordo com Embrapa (2011b), a necessidade de água da cultura da soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo no florescimento e enchimento de grãos. Nesse sentido, a presença da palhada em superfície e a melhoria estrutural do solo conferida pela *B. brizantha* podem ter contribuído para a amenização do déficit hídrico no início da fase reprodutiva da soja, Figura 1, conferindo ao solo um melhor ambiente edáfico, resultando assim em maior rendimento das culturas de verão em sucessão (Figura 3).

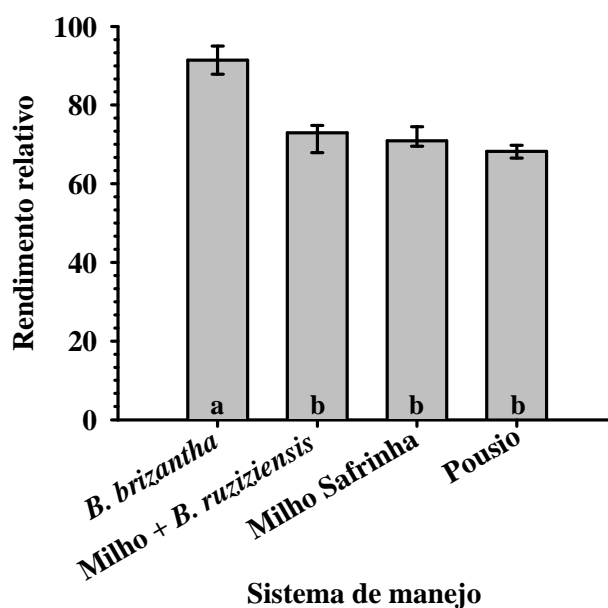


Figura 3. Rendimnto relativo de grãos de soja em diferentes sistemas de manejo do solo na entressafra em um Latossolo Vermelho distrófico do município de Rio Verde, Goiás (Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Média de 4 repetições).

A visualização conjunta dos atributos do solo mostrou que a adoção do manejo na entressafra pode ser considerada uma estratégia de produção sustentável (Silva et al., 2011), tendo sido a produtividade de grãos de soja na área com *B. brizantha* como planta de cobertura (sem pastejo) na entressafra, em média, de 3.514 kg ha⁻¹, com ganhos de aproximadamente 30% (aumento de 800 kg ha⁻¹) com relação aos demais sistemas avaliados, que, por sua vez, não diferiram entre si (Figura 3). Isso se deve à melhoria química (Tabela 3) e estrutural do solo (Tabelas 4 e 5; Figura 2) nesse sistema.

A manutenção dos sistemas de produção sob pousio no período de entressafra na região do Cerrado tem sido constantemente adotada pelos produtores ruais, o que pode comprometer o manejo conservacionista do solo. Por outro lado, as gramíneas do gênero *Brachiaria* têm se destacado como opções na formação de palhada para o plantio direto, por apresentar elevadas produções de resíduos, acúmulo de nutrientes e composição químico-bromatológica desfavorável à decomposição (Nepomuceno et al., 2012).

Quando adotada na entressafra, a *B. ruzisiensis* se destaca por apresentar melhoria dos atributos químicos do solo, devido ao caráter perene e ciclagem de nutrientes (Tabela 3). Em função do crescimento prostrado e menor entouceiramento, tem sido considerada por muitos produtores brasileiros a cobertura vegetal mais adequada ao cultivo consorciado com milho safrinha, e, pela facilidade de dessecação, pode ser bem aproveitada com o propósito de cobertura do solo (Machado e Assis, 2010).

Em adição, embora a consorciação da *B. brizantha* com culturas anuais também seja viável (Calonego et al., 2011; Chioderoli et al., 2012), em áreas cultivadas com variedades de soja de ciclo tardio, ou ainda, em regiões cujo volume de chuvas torna a safrinha uma atividade de risco, seu cultivo assume papel de destaque nos sistemas integrados de produção, pois, além de correções à fertilidade do solo, Tabela 3, essa espécie de *Brachiaria* melhora a estrutura e aumenta a amplitude do IHO, com benefícios ainda à disponibilidade hídrica às plantas (Figura 2).

Salienta-se, portanto, que a maior produtividade da soja em sucessão ao cultivo da *B. brizantha*, conforme exemplificado pela Figura 3, justificaria sua recomendação como uma importante estratégia de manejo, e ainda a eventuais usos de maiores dosagens de dessecantes exigidos para o controle da espécie em questão, particularmente o glyphosate, em cultivos de soja RR resistentes ao seu princípio ativo.

CONCLUSÕES

1. A intensificação do uso do solo com o cultivo de *Brachiaria* no período de entressafra das culturas de verão pode ser considerada uma medida-chave para a atividade agrícola na região do Cerrado, sem a contrapartida da degradação ambiental;
2. Os resultados mostraram que as principais melhorias químicas e físico-hídricas do solo ocorreram até 10 cm de profundidade;
3. Os teores de matéria orgânica no solo encontrados nos sistemas com *Brachiaria* como plantas de cobertura na entressafra da soja após 5 anos da implantação dos sistemas de manejo apresentaram valores semelhantes à mata e superiores aos sistemas de pousio e milho safrinha nas camadas superficiais, trazendo benefícios em termos de agregação do solo;
4. O cultivo de *B. brizantha* como planta de cobertura no período de entressafra, a médio e longo, prazo aumenta a disponibilidade hídrica do solo, quantificado pela amplitude do intervalo hídrico ótimo. Consequentemente, o rendimento de grãos de soja sob este manejo apresentou ganhos de produtividade em relação aos demais sistemas avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.411–418, 2009.

ANDRADE, J.G.; SEGUI, J.P.; CARLESSO, R.; TROIS, C.; KNIES, A.E. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. I. resultados experimentais. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.20, p. 29-36, 2011.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. **In: NOVAIS, R.F. et al. (ed). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p.873-928. 2007.**

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v.120, p.297-307, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.843-849, 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; FREDDI, O.S. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1591-1600, 2008.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in agronomy**, v.46, p.2-37, 1991.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006.

BRANDÃO, E.D.; SILVA, I.F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, p.1193-1199, 2012.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 132p, 1997.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.37-43, 2012.

CUNHA, E. Q.; BALBINO, L. C.; STONE, L. F.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA, G. C. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.665-674, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 306 p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p, 2011a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Soja Londrina, PR.. 263p, 2011b.

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0**. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos-SP, p.255-258, 2000.

FLAVIO NETO, J. **Qualidade estrutural do solo, produção de massa seca e palhada de forrageiras do gênero *Brachiaria* em sistema de integração agricultura-pecuária**. Rio Verde, Instituto Federal Goiano 38p. (Dissertação - Mestrado em Ciências Agrárias) 2012.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; PERES, F.S.C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho: II – Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.805-818, 2009.

GARCIA, R.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.28 p.579–585, 2008.

GIANCOTTI, P.R.F. **Período de dessecação de *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* antecedendo o plantio direto do girassol**. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 49p. (Tese de Mestrado), 2012.

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

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and Size distribution. **In:** KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, Part. 1. p.425-442, Agronomy, 1986.

LANDERS, J.N. Situação do plantio direto. **In:** Curso de especialização por tutoria a distância. Módulo 1. Brasília, DF: ABEAS / UnB, 93 p, 2000.

LIMA, C.L.R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A.; SILVA, A. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.124, p.190–195, 2012b.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Intervalo Hídrico Ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.71-78, 2012a.

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

MACHADO, L.A.Z.; ASSIS, P.G.G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.415-422, 2010.

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, p.68-76, 2009.

McNEILL, A.M.; PENFOLD, C.M. Agronomic management options for phosphorus in Australian dryland organic and low-input cropping systems. **Crop and Pasture Science**, v. 60, p.163–182, 2009.

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

NEPOMUCENO, M.P.; VARELA, R.M.; ALVES, P.L.C.A.; MARTINS, J.V.F. Períodos de dessecação de *Brachiaria ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**, v.30, p.557-565, 2012.

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

OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; MELLO, C.R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo vermelho da Microregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.265-270, 2007.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.17-25, 2011.

PANACHUKI, E., BERTOL, I, SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E.M.; MARTINS, E.S.; BROSSARD, M. Hydraulic properties of the diagnostic horizon of Latosol of a regional toposequence across the Brazilian central plateau. **Geoderma**, v.139, p.51-59, 2007.

RICHARDS, L.A.; WEAVER, L.R. Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting point. **Soil Science**, v.56, p.331-339, 1943.

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

SANTOS, G. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.740-752, 2005.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1332-1338, 2011.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P., SILVA, F.G.; FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.773-782, 2011.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Least Limiting Water Range of Soils. **In:** Lal, R. (Org.). Encyclopedia of Soil Science. New York, 2006. v. 1, p. 1026-1029.

SILVA, R.F.; GUIMARÃES, M.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1277-1283, 2011.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 387-394, 2001.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, J.H.; JUNIOR, M.L.; CUNHA, P.C.R. Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1170-1175, 2011.

SOUSA, D.M.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

VOLLANT-TUDURI, N.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, M. I. L.; MARTINS, E. S. Mass proportion of microaggregates and bulk density in a Brazilian clayey oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v.69, p.1559-1564, 2005.