

# Qualidade física de um Plintossolo Argilúvico sob diferentes sistemas de gestão

## Soil resistance to penetration of a mechanical plinthosols argilúvic submitted to different uses

Felipe C. V. Santos<sup>1</sup>, Ronaldo O. C. Filho<sup>1</sup>, Idelfonso C. Freitas<sup>1</sup>, Vladia Correchel<sup>1</sup> e Marco Aurélio C. Carneiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, Rodovia Goiânia/Nova Veneza, km 0, CP 131, CEP 74001-970, Goiânia, GO, Brasil. E-mails: rocfilho1985@gmail.com; idelfonsocolares@hotmail.com; vladiacorrechel@hotmail.com; felipecv Santos@hotmail.com, author for correspondence

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Jataí, BR 364, km 192, Zona Rural, CEP 75800-000, Jataí, GO - Brasil. E-mail: carbonecarneiro@pq.cnpq.br

Recebido/Received: 2012.07.19

Aceitação/Accepted: 2014.01.23

### RESUMO

Os aumentos na produção agrícola devem-se ao uso de tecnologias avançadas e expansão de novas fronteiras e ocorrem, em parte, pela substituição das áreas de pastagens e vegetação natural. Algumas dessas áreas estão situadas nas várzeas e, do ponto de vista ambiental, são de extrema importância, pois prestam-se à recarga e manutenção da água de rios e córregos das microbacias. Neste estudo avaliou-se a resistência mecânica à penetração de um Plintossolo Argilúvico sob plantio direto e Cerrado nativo. Em cada área coletaram-se 10 amostras deformadas nas camadas de 0-30 cm e 30-60 cm, para determinação da umidade do solo. A resistência do solo à penetração (RP) foi executada com penetrômetro de impacto, com amostragens aleatórias nas áreas (dez amostras em cada área): 1) Nativas – no topo dos murundus (M) e entre os murundus (EM); 2) Cultivadas – plantio direto implantado há 10 anos (PD10) anos e 15 anos (PD15), em duas épocas: antes do plantio (PD10A e PD15A) e depois do plantio na linha (PD10L e PD15L), e entrelinha (PD10E e PD15E) de plantio, em pontos em cada tratamento. Dos resultados obtidos, observou-se que a RP do solo é influenciada pela posição amostrada. A avaliação da RP mostrou relação com a textura, densidade do solo (Ds), umidade e matéria orgânica do solo. Os valores críticos de Ds e RP são válidos quando comparados aos de áreas de referência próximas, de classe textural e relevo similares. A RP associada a Ds, umidade e textura, é um indicador sensível de alterações da qualidade física do solo, causadas pelo uso. Nas condições deste trabalho, o sistema sob plantio direto não se mostrou eficiente para manter a qualidade física do solo.

**Palavras-chave:** compactação do solo, indicador de qualidade do solo, murundus, solos frágeis, sementeira direta

### ABSTRACT

Increases in agricultural production are due to the use of advanced technologies and expansion of new frontiers and occur by the substitution of pasture areas and natural vegetation. Some of these areas are located in the floodplains and environmental point of view, are of utmost importance because lend themselves to recharge and maintenance of rivers and streams of water catchments. In this study was evaluated the penetration resistance of Plinthosol Argilúvico under tillage and native savanna. In each area, 10 samples are collected deformed layers 0-30 cm and 30-60 cm to determine soil moisture. The resistance to penetration (RP) was performed with impact penetrometer with random sampling areas (ten samples in each area): 1) Native - on top of the mounds (M) and between the mounds (IN); 2) cultured - tillage implanted 10 years ago (PD10) years and 15 years (PD15), at two times : before planting (PD10A and PD15A) and after planting in the line (PD10L and PD15L), and leading (PD10E and PD15E ) planting in points for each treatment. Results showed that the RP soil is influenced by sampled position. The evaluation of the RP was related to the texture, bulk density (BD), and moisture and soil organic matter. The critical values of Ds and RP are valid when compared to nearby reference areas, textural class and similar relief. The RP associated with Ds, moisture and texture, is a sensitive indicator of changes in soil physical quality caused by use. Under the conditions of this study, the no-tillage system was not efficient to maintain soil physical quality.

**Key words:** soil compaction, soil physical quality, murundus, fragile soils, tillage

## Introdução

No Brasil, existem diferentes biomas ou ecossistemas naturais distintos, entre os quais se destaca o bioma Cerrado, caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas e tortuosas, de troncos grossos, com ramificações irregulares e retorcidas, sujeitas à queimadas de ocorrência espontânea. Esse bioma ocupa 24% do território brasileiro e apresenta grande diversidade de fauna e flora (Coutinho, 2006).

No entanto, os atuais níveis de crescimento populacional e a necessidade de ampliar a produção de alimentos, fibras e energia, estão a promover uma utilização intensiva dos recursos naturais, com impactos indesejáveis no meio ambiente. Neste contexto é importante considerar que os recursos naturais devem servir não apenas para suprir as necessidades da atual geração, mas também das futuras (Minella *et al.*, 2010).

Os acréscimos de produção agrícola alcançados devem-se ao uso de novas tecnologias e à expansão das fronteiras agrícolas, tanto pela substituição de áreas de pastagens por agricultura, quanto às de vegetação natural. Entretanto, as formas imediatistas e predatórias de ocupação da terra, dentre as quais o desmatamento é a mais impactante, resultam em erosão acelerada do solo, perda da biodiversidade, rebaixamento do lençol freático e deterioração de muitas áreas ora agricultáveis.

Os aumentos na produção não são atribuídos apenas ao aumento da produtividade, mas igualmente à abertura de novas áreas, pelo desmatamento. Na região do bioma Cerrado, essa prática ainda é comum, pelas condições favoráveis de mecanização dos solos da região Centro-Oeste do Brasil, além da elevação dos preços das *commodities* que estimula o avanço do desmatamento (Margulis, 2003). Assim, esta supervalorização das terras tem provocado a abertura de novas fronteiras em áreas inaptas à exploração agrícola, que inclusive têm sido utilizadas em projetos de reforma agrária ou agricultura intensiva.

Algumas áreas do bioma Cerrado situam-se em compartimentos específicos de hidromorfismo, as chamadas várzeas, cujos solos apresentam reduzida condutividade hidráulica (Barreto *et al.*, 2001), velocidade de infiltração, capacidade de armazenamento e disponibilidade de água abaixo da camada superficial (Gomes *et al.*, 1992). A deficiência de drenagem natural, influenciada pelo relevo pediplano, está associada a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a camada subsuperficial, praticamente impermeável. As características físicas desfa-

voráveis dos solos hidromórficos agravam-se com a gestão inadequada ao longo dos anos, fazendo com que se formem camadas compactadas logo abaixo da camada arável.

Nos últimos anos, no sudoeste goiano houve incorporação de um tipo particular de solos nos sistemas de produção agrícola, onde são comuns os campos de murundus, que correspondem a montículos de terra com formato de meia laranja, com altura máxima de dois metros de altura e de ocorrência natural no bioma Cerrado (Oliveira-Filho, 1992), dominados pelos Plintossolos Argilúvicos (EMBRAPA, 2006). Estas situações caracterizam-se pelo alagamento intermitente e vegetação de gramíneas nativas, com ilhas esparsas de cerrado, nucleadas por cupins. O seu papel mais importante é a recarga do lençol freático e a manutenção de seus níveis nos córregos e rios da microbacia onde estão localizados (Mathews, 1997; Pullan, 1979). Sob o ponto de vista ecológico eles são importantes por apresentarem indícios da evolução do gradiente vegetacional, tendo relação entre fauna e flora e ligação com a perenização das nascentes e cursos de água e interdependência com o regime climático (IPCC, 2007).

Para amenizar os impactos causados pela mudança de uso do solo alguns produtores implantaram o sistema de plantação direta (PD) e outras alternativas de gestão dos restos culturais, para mitigar a degradação do solo, desejando-se a formação de coberturas vegetais eficientes no controle de plantas invasoras e melhoria das condições químicas e físico-hídricas do solo. O benefício mais visível da PD é o desenvolvimento radicular em profundidade pela diminuição do impedimento mecânico e, ou, resistência à penetração ao longo do tempo (Tormena e Roloff, 1996).

Assim, por tratar-se de áreas de grande importância ecológica e com pouco conhecimento disponível sobre o comportamento de suas propriedades físicas, o presente trabalho avaliou a qualidade física do solo em duas áreas conduzidas sob PD (há dez e quinze anos) e uma área de Cerrado Nativo, com microforma de relevo em Plintossolo Argilúvico, no município de Jataí, Estado de Goiás, região central do Brasil.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido em um Plintossolo Argilúvico, sob vegetação original preservada (Cerrado *Stricto sensu*, com diversas espécies arbustivas e gramíneas), caracterizada por murundus e sob áreas plantadas em gestão de plantação direta, situadas

entre as coordenadas 17°57'59" S, 52°04'35" W, com altitude média regional de 872 m, na microbacia do Rio Claro localizada no município de Jataí no Estado de Goiás, região central do Brasil.

O clima regional é do tipo Cw (classificação de Köppen), mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definida e temperatura anual variando entre 18 a 32 °C. No período chuvoso (novembro a maio), são registrados mais de 80% do total das chuvas do ano, com pico de chuvas entre dezembro e janeiro e precipitação média anual de 1650 mm. O fenômeno "veranico", caracterizado pela ausência de chuva que costuma durar de dez a quinze dias, ocorre, em geral entre janeiro e março.

Nessa região foram selecionadas três áreas para o desenvolvimento do presente estudo: 1) Cerrado nativo avaliado no topo de murundus (M - área localizada na parte superior da formação murundu, que não sofreu intervenção antrópica, com vegetação típica de Cerrado, e intensa atividade de térmitas em murundus com altura aproximada de 2 m e diâmetro de 5 m) e entre murundus (EM - área localizada na posição mais baixa da formação de murundus, apresentando vegetação graminóide rasteira, solo muito úmido, não tendo sofrido nenhuma ação antrópica); 2) Sistema de plantação direta (PD), implantada há 10 anos (PD10): área de murundus sistematizada, ou seja, que sofreu movimentação de terra para tornar-se plana e utilizável para a plantação direta e drenada artificialmente, em 1998/1999, na qual foram aplicadas e incorporadas 6  $\text{tha}^{-1}$  de calcário dolomítico, com recurso a arado e grade, sendo usado no plantio 0,6  $\text{tha}^{-1}$  de fosfato reativo (33%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). A partir de 1999, não houve mais revolvimento do solo na área, sendo adotada a rotação de culturas com soja na colheita principal e milho nas colheitas intermédias à principal, com produtividade média em torno de 3,4 e 6  $\text{tha}^{-1}$ , respectivamente, nos primeiros anos e 3) Sistema de plantação direta há 15 anos (PD15). Histórico similar ao PD10, porém, a área foi incorporada à PD em 1994, quando estava ocupada por pastagem nativa degradada. Em 1994 foram aplicadas e incorporadas 3  $\text{tha}^{-1}$  de calcário dolomítico por meio de arado e grade, sendo usado na plantação 1  $\text{tha}^{-1}$  de fosfato reativo (33%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e 2  $\text{t ha}^{-1}$  de gesso. A partir de 1996, o solo não foi mais revolvido sendo adotada a sucessão das culturas soja (colheita principal) e milho (colheita secundária), com produtividades em torno de 3,4 e 6  $\text{tha}^{-1}$ , respectivamente.

Para caracterização do solo coletaram-se dez amostras em cada situação em que foram feitas as determinações da densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico, da granulometria pelo método

do densímetro de Bouyoucos utilizando-se NaOH e Hexametáfosfato de Na e da matéria orgânica do solo (MO), conforme descrito em EMBRAPA-CNPS (1997).

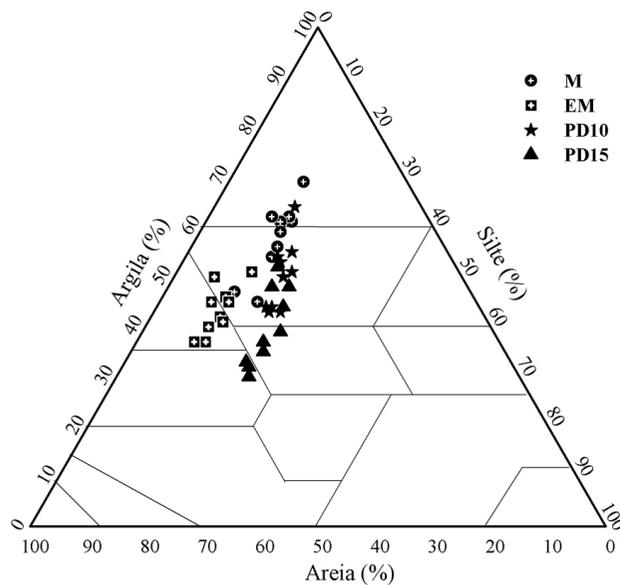
Para avaliar a umidade do solo na qual a estimativa da resistência do solo à penetração (RP) estava sendo realizada, em cada área foram coletadas amostras deformadas nas camadas 0-30 e 30-60 cm em cada ponto nas quais foram feitas penetrometrias (10 amostras em cada situação por camada). A umidade do solo foi feita pelo método gravimétrico conforme descrito em EMBRAPA-CNPS (1997). Foram realizadas 10 penetrometrias em campo por situação (considerou-se como uma repetição um conjunto de três penetrometrias em um raio de 5 m), com um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf *et al.*, 1983), obtendo-se os dados em impactos por decímetro, que foram transformados em MPa com a equação descrita por Stolf (1991).

As penetrometrias foram feitas em campo em uma área de 2500  $\text{m}^2$  do seguinte modo: em M e EM, de modo aleatório, em PD há 10 e 15 anos de modo aleatório (PD10 e PD15). No PD10 e PD15, também foram coletadas amostras nas posições linha (PD10L, PD15L) e entrelinha (PD10E, PD15E). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo os resultados obtidos submetidos à análise de variância e teste Tukey (5% de probabilidade) para a comparação de médias usando-se o programa Assistat (Silva e Azevedo, 2002).

## Resultados

De acordo com a Figura 1, embora tenham sido observadas diferenças na textura do solo entre os sistemas de gestão, essas não são significativas e permitem que os solos sejam enquadrados na classe argilosa. A menor variação da textura foi observada na área EM (13%) e a maior na área M (16,3%). Essa variação da textura é atribuída à condição específica da área. Embora EM esteja numa posição de aporte de sedimentos de M, esta não apresenta térmitas como M. Assim, a variação de textura pode ser atribuída às térmitas e à sistematização da área estudada.

No Quadro 1 são apresentados os valores médios de densidade do solo (Ds), matéria orgânica (MO) e resistência do solo à penetração (RP) obtidos em cada sistema de gestão estudado. Observa-se que a Ds variou de 0,8 a 1,4  $\text{Mgm}^{-3}$ , diferindo entre os sistemas de gestão, bem como quanto às posições de amostragem avaliadas. Os valores de Ds obtidos em PD10E e PD15E são considerados críticos para essa classe de textura do solo.



**Figura 1** – Granulometria de Plintossolo Argilúvico em diferentes sistemas de gestão (M = murundu; EM = entre murundu; PD10 = plantação direta há dez anos; e PD15 = plantação direta há quinze anos).

Conforme os resultados apresentados no Quadro 1, os teores de MO variaram de 22,9 a 51,4 gkg<sup>-1</sup>, mas não diferiram entre os tratamentos. Os valores médios de RP na camada 0-10 cm variaram significativamente entre os sistemas de gestão estudados, observando-se a ocorrência dos menores valores no solo em condições naturais (M e EM).

O fato da textura e do teor de MO não diferir entre os sistemas de gestão é atribuído à atividade de térmitas, que pode contribuir para o incremento de materiais orgânicos no solo nas áreas com murundu e entre murundu, pois essas, durante a maior parte do ano, apresentam o lençol freático próximo à superfície. Nas áreas plantadas (PD10 e PD15) esses resultados podem estar associados ao fato de que, apesar de haverem sido sistematizadas e drenadas, estão sob PD o que proporciona adição de MO com o tempo de uso do sistema.

Os menores valores de RP foram encontrados nas áreas de M e EM. Entre PD10L e PD15L não foram verificadas diferenças. Os resultados obtidos em M e EM são atribuídos à preservação local e presença de térmitas em M, enquanto que nas áreas plantadas, justificam-se pela ação de implementos na linha de plantação.

As variações dos valores de RP podem estar associadas à posição de amostragem nas áreas cultivadas, pois os maiores valores de RP foram encontrados no PD10A (5,59 MPa) e PD15A (5,68 MPa).

Na figura 2, pode-se observar uma relação direta e positiva entre a RP e a Ds, e inversa com a umidade

do solo. Observando-se a relação entre Ds e RP mostrada na Figura 2A, nota-se a coerência dos resultados obtidos, pois quanto maior a Ds, maior a RP que um solo oferece ao desenvolvimento radicular devido à redução do espaço poroso desse solo. Assim, quanto menor o volume de poros de um solo, menor a quantidade de água contida no mesmo (Figura 2B). A MO, por ser um colóide e, portanto apresentar elevada capacidade de troca de cátions ou sítios de adsorção, explica a relação demonstrada na figura 2D.

A análise estatística dos dados de penetrometria feitas nas áreas de estudo revela que nas áreas M e EM não existem diferenças dos valores de RP com o aumento da profundidade nos perfis de solo. Em relação às áreas plantadas, os sistemas preservados (M, EM) mostram valores de RP significativamente menores em todas as profundidades avaliadas (Quadro 2).

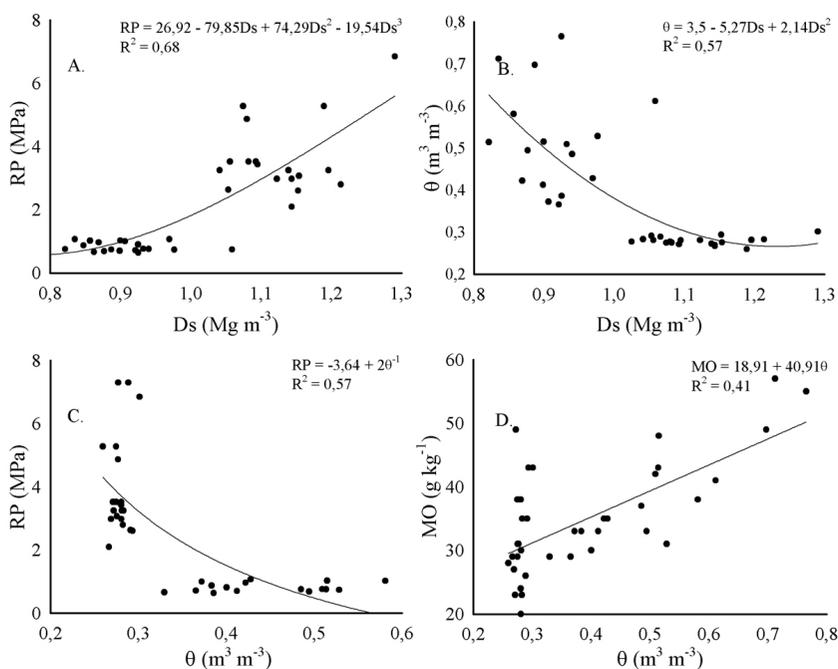
Em relação ao período de amostragem da RP, os valores médios de RP foram maiores antes da plantação (PD10A e PD15A) do que os obtidos depois da plantação. Entretanto, ao se avaliar o efeito da posição de amostragem, as análises estatísticas dos dados mostram que, independente do tempo de adoção da PD, os maiores valores de RP são encontrados nas entrelinhas de plantação, quando comparados aos obtidos nas linhas.

No PD10A, os valores de RP, de 0 a 45 cm foram superiores a 2 MPa (Figura 3). Nas camadas entre 5-20 cm a RP variou de 4 a 5 MPa, observando-se

**Quadro 1** – MValores médios  $\pm$  desvio padrão de densidade do solo (Ds), matéria orgânica do solo (MO) e resistência do solo a penetração (RP) em Plintossolo Argilúvico em diferentes sistemas de gestão na camada de 0 -10 cm.

Usos*	Ds ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	MO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	RP (MPa)
M	0,9 $\pm$ 0,1 D	33,3 $\pm$ 7,29 A	0,88 $\pm$ 0,2 C
EM	0,9 $\pm$ 0,1 CD	41,7 $\pm$ 9,66 A	0,78 $\pm$ 0,1 C
PD10A	1,1 $\pm$ 0,1 B	31,9 $\pm$ 6,32 A	3,79 $\pm$ 1,8 A
PD10L	1,0 $\pm$ 0,1 C	--- $\pm$ ---	1,36 $\pm$ 0,6 BC
PD10E	1,3 $\pm$ 0,1 A	--- $\pm$ ---	1,82 $\pm$ 0,4 BC
PD15A	1,1 $\pm$ 0,1 B	32,1 $\pm$ 9,24 A	4,18 $\pm$ 1,5 A
PD15L	0,9 $\pm$ 0,1 CD	--- $\pm$ ---	2,42 $\pm$ 1,1 B
PD15E	1,2 $\pm$ 0,1 A	--- $\pm$ ---	2,33 $\pm$ 0,8 B

\* Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre usos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M = murundus; EM = entre murundus; PD10A = plantação direta há dez anos avaliada antes da plantação; PD10L = plantação direta há dez anos avaliada na linha depois da plantação; PD10E = Plantação direta há dez anos avaliada na entrelinha depois da plantação; PD15A = plantação direta há quinze anos avaliada antes da plantação; PD15L = plantação direta há quinze anos avaliada na linha depois da plantação



**Figura 2** – Relações entre os atributos físicos resistência do solo à penetração do solo (RP), densidade do solo (Ds), matéria orgânica do solo (MO) e umidade do solo ( $\theta$ ): a) RP x Ds; b)  $\theta$  x Ds; c) RP x  $\theta$ ; e, d) MO x  $\theta$ .

compactação em superfície. Esses resultados podem proporcionar alguma limitação ao desenvolvimento radicular.

A umidade média do solo diferiu entre os sistemas de gestão nas profundidades avaliadas. Na camada de solo entre 0-30 cm, o teor médio de umidade foi maior na área EM ( $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) que diferiu significativamente do encontrado na área M ( $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e esses valores são significativamente diferentes dos

valores encontrados nas áreas plantadas, que apresentaram valores de umidade variando de  $0,23$  a  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , e que não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de gestão (Quadro 2). Nas áreas em PD, não foram identificadas diferenças entre o tempo de adoção do sistema de gestão ou em relação à posição de amostragem. Esses resultados podem estar associados ao fato das áreas de plantação ter sido sistematizadas e drenadas para planta-

ção. Na área EM o lençol freático entra em contato com a superfície do solo no período chuvoso havendo fluxo superficial de água. Em M e EM a umidade observada pode ter alterado o efeito da Ds na RP.

## Discussão

A semelhança de textura do solo nos sistemas de gestão estudados pode ser atribuída às variações das características do solo associadas à gênese e condições de relevo (Campos *et al.*, 2007). Para estudos desta natureza, características como textura e tipo de solo são desejáveis, em especial quando se avalia o efeito da umidade e Ds na dinâmica da RP, devido às inter-relações destes atributos (Oliveira *et al.*, 2007).

A textura é considerada uma das mais importantes características físicas do solo pelo seu efeito na retenção de água, fixação de P e capacidade de troca de cátions. Sua influência na formação e na dinâmica da MO não é clara, mas, em geral, é proporcional ao teor de argila (Marques *et al.*, 2004; Zinn *et al.*, 2005; Zinn *et al.*, 2007). Contudo, uma vez que o teor de argila afeta diversas propriedades do solo, é difícil provar uma relação causal com o teor de MO (Oades, 1988).

A Ds é um atributo do solo utilizado para avaliar a estrutura do solo, seu potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (Doran e Parkin, 1994). Apresenta relação direta com a RP (Tormena *et al.*, 2004) e inversa com a umidade do solo (Pires *et al.*, 2011). Beutler *et al.* (2007) observaram que a produtividade de soja diminuiu com valores de Ds superiores a 1,26 Mg m<sup>-3</sup>. Observa-se no Quadro 1 que os tratamentos PD10E e PD15E apresentam valores superiores ao observado por Beutler *et al.* (2007).

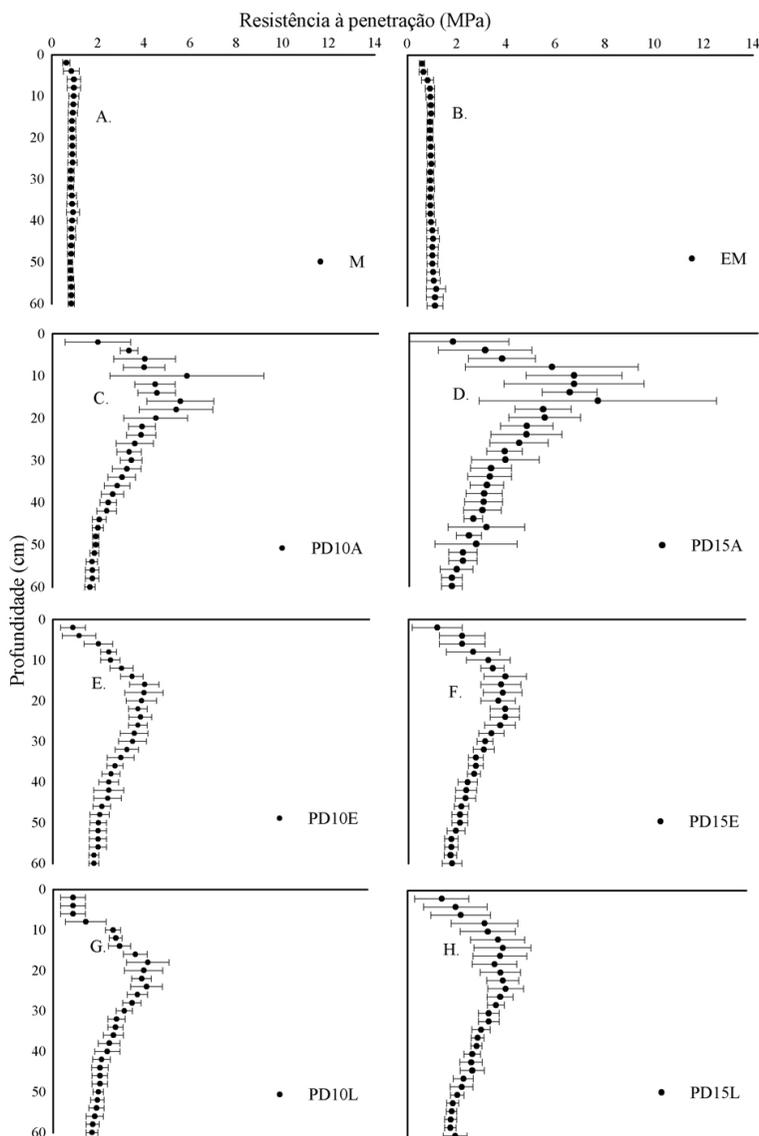
A variação da Ds no campo é influenciada pela posição relativa à linha de cultivo, conforme mostram os resultados obtidos por Correchel (1998), que observaram em um Latossolo Vermelho irrigado por pivô central, que a interpretação da análise de Ds sofre influência da posição de amostragem.

De acordo com Lopes e Guilherme (1994), os valores médios de MO encontrados no presente estudo são considerados elevados para solos de Cerrado, mas justificam-se pelo fato de que as áreas EM encontram-se em boa parte do ano submersas, reduzindo a velocidade de decomposição da MO, enquanto na área M existe um número expressivo de termiteiros (observação feita em campo), o que é característico neste ecossistema.

**Quadro 2** – Valores médios de resistência do solo a penetração (RP) sob diferentes usos, profundidades e épocas em Plintosolo Argilúvico.

Prof	M	EM	PD10A	PD10L	PD10E	PD15A	PD15L	PD15E
0-5	0,82 aB	0,69 bB	3,07 cdefA	0,89 hB	1,36 eB	1,36 deB	1,87 eAB	1,88 dAB
05-10	0,96 aD	0,89 abD	4,57 abcAB	1,67 ghCD	1,67cd CD	5,36 abcA	2,90 bcdBC	2,90 bcBC
10-15	0,92 aD	0,92 abD	4,80 abB	3,14 bcdC	3,54 abBC	6,89 aA	3,83 abBC	3,79 aBC
15-20	0,89 aC	0,92 abC	5,09 aAB	3,97 aB	4,01 aB	6,14 abA	3,75 abcB	3,83 aB
20-25	0,90 aB	0,95 abB	3,74 abcdA	3,74 abA	3,80 abA	4,62 bcdA	3,95 aA	3,95 aA
25-30	0,86 aB	0,95 abB	3,41 bcdeA	3,48 abcA	3,63 abA	4,04 cdA	4,04 abcA	3,48 abA
θ I	0,42 aB	0,56 aA	0,25 Ac	0,28 aC	0,28 aC	0,23 aC	0,28 aC	0,28 aC
30-35	0,86 aB	0,93 abB	2,99 cdefA	2,76 cdeA	3,01 bcA	3,22 deA	3,10 abcdA	2,91 bcA
35-40	0,90 aB	0,94 abB	2,59 defA	2,53 defA	2,60 cdA	3,05 deA	2,81 cdeA	2,66 cA
40-45	0,86 aC	1,03 abC	2,10 efB	2,11 efgB	2,36 cdAB	2,88 deA	2,54 deAB	2,32 cdAB
45-50	0,83 aC	1,02 abC	1,90 efB	2,06 efgB	2,09 deB	2,74 deA	2,20 deAB	2,16 cdB
50-55	0,84 aB	1,09 aB	1,74 Fa	1,92 fgA	2,00 deA	2,08 eA	1,83 eA	1,85 dA
55-60	0,85 aB	1,14 aB	1,68 fA	1,79 fgA	1,88 deA	1,79 eA	1,85 eA	1,78 dA
θ II	0,42 aB	0,57 aA	0,25 aC	0,27 bC	0,27 bC	0,23 aC	0,27 aC	0,27 aC

\* Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre as profundidades e maiúsculas na linha não diferem entre tratamentos respectivamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ns = não significativo a 5% de probabilidade entre as profundidades; θ I e θ II = umidade na camada 0-30 cm e 30-60 cm, respectivamente; Prof. = profundidade, cm; CV = coeficiente de variação %; DP = desvio padrão; M = murundu; EM = entre murundu; PD10A = Plantio direto implantado há dez anos e avaliado antes da semeadura; PD10L = Plantio direto implantado há dez anos e avaliado depois do plantio na linha de semeadura; PD10E = Plantio direto implantado há dez anos e avaliado depois da semeadura na entrelinha; PD15A = Plantio direto implantado há quinze anos e avaliado antes da semeadura; PD15L = Plantio direto implantado há quinze anos e avaliado depois da semeadura na linha de plantio.



**Figura 3** – Valores médios de resistência à penetração em profundidade de um Plintossolo Argilúvico sob diferentes sistemas de gestão: M= murundu; EM = entre murundus; PD10A = Plantação direta há dez anos avaliada antes da plantação; PD10L = Plantação direta há dez anos avaliada na linha depois da plantação; PD10E = Plantação direta há dez anos avaliada na entre-linha depois da plantação; PD15A = Plantação direta há quinze anos avaliada antes da plantação; PD15L = Plantação direta há quinze anos avaliada na linha depois da plantação.

Nas áreas de PD10 e PD15 a não ocorrência de diferença e, ou, acréscimo de MO em relação às áreas de Cerrado (M e EM), pode ser atribuída ao efeito do sistema de drenagem implantado. Segundo Olivie-Lauquet *et al.* (2001) e Lima *et al.* (2005), a drenagem altera o equilíbrio dos elementos e dos compostos no solo, resultando em importantes mudanças químicas, físicas, biológicas e mineralógicas. Assim, os valores encontrados para a área EM são coerentes com as características ambientais observadas.

Devido a relação entre a RP com a Ds, textura, MO e umidade (Tormena *et al.*, 2004; Ribon e Tavares Filho,

2004), a comparação entre sistemas de gestão deve envolver a avaliação conjunta desses parâmetros.

Apesar do valor médio de Ds não diferir entre EM e PD15L (Quadro 1), observa-se que a RP diferiu, fato atribuído ao efeito da umidade (Pires *et al.*, 2011) no momento da amostragem.

Os valores de RP obtidos no PD10A e PD15A são classificados como muito alto por diversos pesquisadores (Canarache, 1990; Arshad *et al.*, 1996; Rosa Filho *et al.*, 2009), sendo o valor de 2,0 MPa considerado limitante ao desenvolvimento radicular (Taylor *et al.*, 1966; Nesmith, 1987; Arshad *et al.*, 1996).

Após a plantação houve uma redução na RP em PD10E e PD10L, com valores em todo o perfil classificados como de moderada resistência. No PD10L na camada 0-5 cm houve redução significativa da RP em relação PD10E, mas insuficiente para retornar à condição natural observada em M e EM. Assim, o uso de uma área de referência, como uma área nativa, por exemplo, é desejável. Independente do critério adotado para este trabalho observam-se limitações físicas nos solos cultivados.

Na avaliação indireta da compactação do solo com o uso de penetrômetros deve-se estar sempre a avaliar sistemas implantados num solo de mesma classe de textura e teores similares de umidade, pois a RP não é um parâmetro independente, sendo sensível a vários processos ou efeitos simultâneos, como ruptura por cisalhamento, compressão da matriz, fricção metal-solo e solo-solo (Stolf, 1991).

Neste trabalho, como os sistemas cultivados estão na mesma classe de textura e faixa de umidade esses fatores não influenciam a interpretação da análise da RP. Assim, considerando-se o valor de 2 MPa como limitante, em todas análises que envolvem PD observam-se restrições ao desenvolvimento radicular.

Diversos autores, comparando a RP entre sistemas de gestão com diferentes teores de umidades, não limitaram as observações a respeito da zona compactada (Costa *et al.*, 2003; Ralich *et al.*, 2008; Magalhães *et al.*, 2009).

Observando-se a relação entre a RP e a profundidade de avaliação (Figura 3), os resultados encontrados indicam a profundidade até a qual o solo, em cada sistema de gestão, deverá ser subsolado para romper a camada compactada (Stolf *et al.*, 1983), considerando-se a umidade no perfil do solo.

Ralich *et al.* (2008) avaliando sistemas de gestão, verificaram menor RP nos solos sob área preservada, com exceção da camada superficial (0 a 10 cm), pois nessa camada o revolvimento do solo no sistema de plantação convencional proporcionou menores valores de RP. Embora existam trabalhos mostrando que a RP é maior sob vegetação preservada (Casalinho *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2010), esses valores estão na faixa de moderada resistência conforme sistema de classificação proposta pela EMBRAPA (2007). Ralisch *et al.* (2008) obtiveram, em um Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) conduzido em PD por dois anos, valores de RP semelhantes aos encontrados no presente estudo nas áreas em PD15A, PD15L e PD15E, os quais podem ser explicados pelo efeito do rebaixamento do lençol freático e ao uso de implementos agrícolas.

Utilizando a classificação proposta por Arshad *et al.* (1996), os valores de RP encontrados no presen-

te trabalho nas profundidades de 0 a 5 cm e entre 20 a 60 cm são considerados de moderada resistência, enquanto que na profundidade entre 5 a 20 cm, como de alta resistência. Em geral, no PD15A os valores foram superiores ao PD10A, PD10E e PD10L.

Em diversos trabalhos nos quais a compactação do solo foi avaliada em áreas de PD (Borges *et al.*, 2004; Ralisch *et al.*, 2008), os valores de RP tendem a decrescer com o aumento do tempo de adoção desse sistema de gestão, convergindo para valores próximos aos encontrados nas áreas preservadas (M, EM) do presente estudo.

A tendência de aumento da RP na PD neste trabalho pode indicar que Plintossolos, mesmo plantados em sistemas de gestão conservacionistas, podem ser limitantes ao pleno desenvolvimento de culturas, devido à desidratação irreversível da plintita (que corresponde a uma mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro e é de ocorrência comum nesses solos), devido à drenagem do solo (EMBRAPA, 2006; Anjos *et al.*, 2007) para a plantação.

## Conclusões

A resistência do solo à penetração é influenciada pela posição de amostragem e a avaliação da resistência do solo à penetração deve estar associada à textura, à densidade do solo, à umidade e ao teor de matéria orgânica do solo.

Os sistemas de plantação direta estudados neste trabalho não foram eficientes para conservar a qualidade física do Plintossolo Argiluvico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado (processo n. 130329/2010) ao primeiro autor.

## Referências Bibliográficas

- Anjos, L.H.C.; Pereira, M.G.; Pérez, D.V. e Ramos, D.P. (2007) – Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro – MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 5, p. 1035-1044.
- Arshad, M. A.; Lowery, B. e Grossman, B. (1996) – Physical tests for monitoring soil quality. In: DO-RAN, J.W. e JONES, A.J. (Eds). *Methods for asses-*

- sing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, p. 123-141. SSSA special publication 49.
- Margulis, S. (2003) - *Causas do desmatamento da Amazônia brasileira*. Brasília, Banco Mundial. 100 p.
- Barreto, A.N.; Oliveira, G.R.; Nogueira, L.C. e Ivo, W.M.P.M. (2001) - Condutividade hidráulica saturada em um solo aluvial do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.5, n. 1, p. 152-155.
- Beutler, A.N.; Centurion, J.F.; Centurion, M.A.P.C.; Leonel, C.L.; São João, A.C.G. e Freddi, O.S. (2007) - Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 6, p. 1223-1232.
- Borges, J.R.; Pauletto, E.A.; Sousa, R.O.; Pinto, L.F.S. e Leitzke, V.W. (2004) - Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. *Revista Brasileira de Agrociência*, vol. 10, n. 1, p. 83-86.
- Campos, M.C.C.; Marques Junior, J.; Pereira, G.T.; Montanari, R. e Siqueira, D.S. (2007) - Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 38, n.2, p. 149-157.
- Canarache, A. (1990) - PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil & Tillage Research*, vol. 16, n. 1-2, p.51-70.
- Casalinho, H.D.; Martins, S.R.; Silva, J.B. e Lopes, A.S. (2007) - Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agrociência*, vol.13, n.2, p. 195-203.
- Correchel, V. (1998) - *Densidade do solo: Influência da posição relativa à linha de plantio em dois sistemas de preparo do solo*. Dissertação de mestrado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 42 p.
- Costa, F.S.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V. e Wobeto, C. (2003) - Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 27, n. 3, p. 527-535.
- Coutinho, L.M. (2006) - O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasileira*, vol. 20, n. 1, p. 13-23.
- Doran, J.W. e Parkin, T.B. (1994) - Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F. e Stewart, B.A. (Eds.) - *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America & American Society of Agronomy, p. 3-21. (Special publication, 35).
- EMBRAPA-CNPS (1997) - *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- EMBRAPA-CNPS (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306 p.
- EMBRAPA, Clima temperado. (2007) - *Qualidade física do solo: Indicadores quantitativos*. Pelotas, RS. Ed. EMBRAPA Clima Temperado, 27 p. (Documentos 196).
- Gomes, A.S.; Cunha, N.S. e Pauletto, E.A. (1992) - Solos de várzea: Uso e Manejo. In: Marcantonio, G. *Solos e irrigação*. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1992, p. 64-79.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) - *Climate Change 2007: mitigation*. Cambridge: Cambridge Press 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.; Schaefer, C.E.G.R. e Ker, J.C. (2005) - Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazonica*, vol. 35, n. 3, p. 317-330.
- Lopes, A.S. e Guilherme, L.A.G. (1994) - *Solos sob Cerrado: Manejo da fertilidade para a produção agropecuária*. São Paulo, ANDA, 2ª Ed, 62 p. (Boletim técnico, 5)
- Magalhães, W.A.; Cremon, C.; Mapeli, N.C.; Silva, W.M.; Carvalho, J.M. e Mota, M.S. (2009) - Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 2, n. 6, p. 21-32.
- Marques, J.J.; Schulze, D.G.; Curi, N. e Mertzman, S.A. (2004) - Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, vol. 119, n. 3-4, p. 179-195.
- Mathews, A.G.A. (1997) - *Studies on thermites from the Mato Grosso State, Brazil*. Rio de Janeiro. Academia Brasileira de Ciência. 267 p.
- Minella, J.P.G.; Merten, G.H.; Reichert, J.M. e Cassol, E.A. (2010) - Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: Prado, R.B.; Turetta, A.P.D. e Andrade, A.G. (eds). *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais*. 1ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 418 p.
- Nesmith, D.S. (1987) - Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. *Soil Science Societ of America Journal*, vol. 51, n. 2, p. 183-186.
- Oades, J.M. (1988) - The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, vol. 5, n. 1, p. 35-70.

- Oliveira, C.A.; Kliemann, H.J.; Correchel, V. e Santos, F.C.V. (2010) - Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 12, p. 1281-1287.
- Oliveira Filho, A.T. (1992). Floodplain 'murundus' of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, vol. 8, n. 1, p. 1-19.
- Oliveira, G.C.; Severiano, E.C. e Mello, C.R. (2007) - Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 11, n. 3, p. 265-270.
- Olivie-Lauquet, G.; Gruau, G.; Dia, A.; Riou, C.; Jaffrezic, A. e Henin, O. (2001) - Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. *Water Research*, vol.35, n.4, p. 943-952.
- Pires, L.F.; Rosa, J.A. e Timm, L.C. (2011) - Comparação de métodos de média da densidade do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol. 33, n. 1, p. 161-170.
- Pullan, R.A. (1979) - Termites hills in Africa, their characteristics and termites of Cerrado. *Catena*, vol. 6, n. 3-4, p. 267-291.
- Ralisch, R.; Miranda, T.M.; Okumura, R.S.; Barbosa, G.M.; Guimaraes, M.F.; Scopel, E. e Balbino, L.C. (2008) - Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 12, n. 4, p. 381-384.
- Ribon, A. A. e Tavares Filho, J. (2004) - Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. *Brazilian archives Biology and technology*, vol.47, n. 1, p. 25-31.
- Rosa Filho, G.; Carvalho, M. P.; Andreotti, M.; Montanari, R.; Binotti, F. F. S. e Gioia, M. T. (2009) - Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 2, p. 283-293.
- Silva, F.A.S. e Azevedo, C.A.V. (2002) - Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, vol. 4, n. 1, p. 71-78.
- Stolf, R. (1991) - Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 15, n. 2, p. 229-235.
- Stolf, R.; Fernandes, J. e Furlani Neto, V.L. (1983) - *Recomendações para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/ Planalsucar-Stolff*. São Paulo, MIC/ IAA/PNMC - Planalsucar. 8p.
- Taylor, H.M.; Roberson, G.M. e Parker Jr., J.J. (1966) - Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, vol. 102, n. 1, p. 18-22.
- Tormena, C.A.; Friedrich, R.; Pinto, J.C.; Costa, A.C.S. e Fidalski, J. (2004) - Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, n. 6, p. 1023-1031.
- Tormena, C.A. e Roloff, C.A. (1996) - Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 20, n. 4, p. 333-339.
- Zinn, Y.L.; Lal, R.; Birgham, J.M. e Resck, D.V. (2007) - Edaphic Controls on Soil Organic Carbon Retention in the Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 71, n. 4, p. 1204-1214.
- Zinn, Y.L.; Lal, R. e Resck, D.V. (2005) - Changes in soils organic carbon stocks through agriculture in Brazil. *Soil & Tillage Research*, vol. 84, n. 1, p. 28-40.