

# RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E AO CISALHAMENTO EM DIVERSOS USOS DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

## *RESISTANCE OF THE SOIL TO THE PENETRATION AND SHEAR STRENGTH IN SEVERAL USES OF THE SOIL IN AREAS OF PERMANENT PRESERVATION*

**Piero IORI<sup>1</sup>; Moacir de Souza DIAS JÚNIOR<sup>2</sup>; Reginaldo Barboza da SILVA<sup>3</sup>**

1. Engenheiro Agrônomo, Doutorando, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, Brasil. [pieroiori@hotmail.com](mailto:pieroiori@hotmail.com); 2. Professor, Doutor, Bolsista CNPq e Pesquisador Mineiro – FAPEMIG, Departamento de Ciência do Solo - UFLA, Lavras, MG, Brasil; 3. Professor, Doutor, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Registro, SP, Brasil.

**RESUMO:** A resistência do solo à penetração e ao cisalhamento pode ser utilizada como indicadores de compactação do solo e até indicar a suscetibilidade de um solo à erosão. O objetivo deste trabalho foi quantificar e comparar o impacto proporcionado por diferentes usos do solo em um Cambissolo Háplico em áreas de preservação permanente, a partir da resistência do solo à penetração e ao cisalhamento. A área experimental foi instalada em uma área de preservação permanente, na sub-bacia rio Ribeira de Iguape – SP, com diferentes usos do solo: cultivo de banana – CBAN, pastagem degradada – PDEG, sistema silvipastoril – MPIS e mata nativa – MNAT. O ensaio de resistência do solo à penetração foi realizado com um penetrômetro digital de esforço manual, até a profundidade de 40 cm. A resistência do solo ao cisalhamento foi determinada pelo ensaio de palheta (Vane Test) na profundidade entre 0 e 5 cm. A pastagem degradada foi semelhante à mata nativa, com menor resistência do solo à penetração. O cultivo de banana e o sistema silvipastoril foram os usos do solo que apresentaram maior resistência do solo à penetração. O solo sob mata nativa apresentou menor resistência ao cisalhamento. O cultivo de banana, a pastagem degradada e o sistema silvipastoril foram os usos do solo que apresentaram maior resistência do solo ao cisalhamento, indicando que o uso destes solos em áreas de preservação permanente está promovendo a compactação dos mesmos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compactação. Erosão. Modelagem. Qualidade do solo.

### INTRODUÇÃO

Os diferentes usos e manejos do solo podem ocasionar a degradação das propriedades físicas de um solo, principalmente quando este uso substitui uma área em que antes era ocupada por mata. Esta substituição se torna ainda mais impactante, quando a área utilizada se encontra em importantes locais de preservação de solo e água, como, por exemplo, as áreas de mata ciliar, localizadas lateralmente a cursos d'água. Segundo o Código Florestal (Lei nº 4.771/65), estas são áreas de preservação permanente (APP) que devem ser mantidas intocadas e, caso estejam degradadas, deve-se prover a imediata recuperação. Estas áreas quando preservadas, diminuem a erosão e conseqüentemente o assoreamento de rios e lagos, que se constitui em um dos principais problemas da degradação de cursos d'água.

As APP's vêm sendo utilizadas de forma indiscriminada, principalmente para fins agrícolas, causando alteração da estrutura do solo e resultando na sua compactação. Devido à compactação do solo observa-se redução da infiltração da água no solo (SECCO et al., 2004; LANZANOVA et al., 2007), tornando estes locais altamente suscetíveis à erosão,

pois parte da água que não infiltra no perfil do solo, escoar na forma de enxurrada. Reinert et al. (2006) indicam que a proporção de água que infiltra e que escoar sobre o solo é influenciada diretamente pelas propriedades físicas, pelas condições da superfície do solo (presença de vegetação ou de resíduos culturais), e pela compactação dos solos, interferindo indiretamente na qualidade ambiental.

Os solos sob área nativa possuem propriedades físicas do solo adequadas, contudo, a partir do momento em que estes solos são utilizados para exploração agrícola, de forma intensiva e com práticas inadequadas, ocorrem alterações nas suas propriedades originais (CAVENAGE et al. 1999). Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER; YOUNGS, 1992; ARAUJO et al., 2004).

Estas alterações podem ser identificadas com a utilização de diversos ensaios, destacando entre eles os ensaios de resistência do solo à penetração (RP) e resistência do solo ao cisalhamento (RC), que além de auxiliar na identificação da capacidade de suporte de carga dos solos, podem expressar o grau de compactação do

solo (SILVA et al., 2004; MARASCA et al., 2011). Os solos mais compactados apresentam maior resistência à penetração (MARASCA et al., 2011) e maior resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999), devido à maior proximidade entre as partículas, o que confere consequentemente, menor índice de vazios e maiores densidades do solo.

A RP é um atributo do solo sensível e eficiente em identificar as alterações estruturais dos solos (DIAS JUNIOR et al., 2004), além do mais, este atributo permite inferir sobre a maior ou menor facilidade de penetração das raízes (SILVEIRA et al., 2010), servindo como indicador dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular (TORMENA; ROLOFF, 1996).

O cisalhamento do solo é definido como uma ruptura caracterizada por deslocamentos relativos entre partículas e a resistência dos solos a essa ruptura é chamada de RC. Portanto, em solos nos quais as tensões cisalhantes superam a RC ocorre a ruptura (BASTOS, 2008). Bender (1985) sugere que a erosão é um problema de RC, que é função da coesão do solo na superfície e do ângulo de atrito interno, sendo que a coesão é alterada durante a infiltração da água da chuva. Esta coesão depende do estado de tensões e da umidade no início da erosão.

Deste modo, este trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar e comparar o impacto proporcionado por diferentes usos do solo sobre a estrutura de um Cambissolo Háplico em áreas de preservação permanente, usando como indicadores a resistência do solo à penetração e ao cisalhamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape, onde está localizado o Rio Ribeira de Iguape e afluentes, inclusos no município de Registro – SP, latitude de 24°26' Sul, longitude 47°49' Oeste e altitude em torno de 25 m. Definiu-se, como área experimental, a área de preservação permanente localizada lateralmente ao Rio Ribeira de Iguape (APP – área ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos - Lei nº 4.771/1965, Redação dada pela Lei nº 7.803/1989), sob uma mesma classe de solo, Cambissolo Háplico Tb (EMBRAPA, 2006). O clima da região, de acordo Köppen, é o Af, tropical úmido, com transição para o Cfa, sem estação seca definida, com temperatura média anual

de 21°C e precipitação pluvial média anual de 1.700 mm (SILVA et al., 2009). Para efeito de comparação, foram selecionados os seguintes usos nesta mesma classe de solo: cultivo de banana – CBAN, pastagem degradada – PDEG, sistema silvipastoril – MPIS e mata nativa – MNAT como referencial, sobre o mesmo solo (Tabela 1).

O cultivo de banana foi conduzido no espaçamento 2,5 x 2,5 m, sem tráfego agrícola com manejo e colheita manual, no sistema família, ou seja, por meio de desbastes, deixando-se apenas um perfilho por geração. A correção da fertilidade e acidez do solo foi feita com base nos resultados da análise do solo e exigências nutricionais da cultura, conforme recomendações do Boletim 100 (TEIXEIRA et al., 1997). Adotou-se o termo pastagem degradada, pois esta apresenta um manejo inadequado, ocupada pela espécie *Brachiaria decumbens*, com acentuada perda de produtividade e de capacidade de recuperação natural, culminando num estágio de degradação avançada. O sistema silvipastoril constitui em uma mata ao lado da área de pastagem, com abertura para entrada dos animais. Nesta mata há a exploração da madeira como lenha pelos moradores locais. A mata nativa constitui uma área preservada próximo à área experimental.

Para a definição da área experimental utilizou-se imagens de fotografias aéreas e de satélites, mapa de solos e o uso da ferramenta do índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI. As imagens NDVI e as imagens-fração foram derivadas dos dados digitais do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 5, obtidos sobre a região do Vale do Ribeira. Estas imagens permitiram analisar a cobertura do solo da região, para determinar áreas de interesse para estudos do uso e ocupação do solo na região, de forma a buscar áreas situadas em APP's e em locais aparentemente sujeitos a erosão (BENDINI; SILVA, 2009).

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (DAY, 1965), empregando-se solução de NaOH como dispersante químico e agitação rápida de 6.000 rpm, por 20 minutos. A argila dispersa em água (ADA) foi determinada também pelo método da pipeta, sem o acréscimo da solução de NaOH, determinando-se o índice de floculação (IF) com base na seguintes expressão (EMBRAPA, 1997):

$$IF = ((A - ADA) A^{-1}) 100$$

em que,

IF: índice de floculação (%);

A: argila total (g kg<sup>-1</sup>);

ADA: argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>).

A densidade do solo (Ds), pelo método do

anel volumétrico e o teor de matéria orgânica (MO) foram determinados seguindo a metodologia de Embrapa (1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do picnômetro (BLAKE;

HARTGE, 1986). Em cada uso a amostragem foi realizada em malha irregular, num total de 20 pontos para todos os atributos analisados. Os resultados dessas análises estão na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização física e química do Cambissolo Háplico sob os diferentes usos avaliados, na profundidade entre 0 e 5 cm.

Variáveis	Uso do solo			
	MNAT	MPIS	PDEG	CBAN
Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	2,67	2,56	2,60	2,65
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	155	237	216	294
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	343	122	146	317
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	502	641	638	389
ADA (g kg <sup>-1</sup> )	51	22	121	27
IF (%)	67	91	59	88
MO (g kg <sup>-1</sup> )	25	45	36	33
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	1,14	1,47	1,39	1,28

Dp: densidade de partículas; ADA: argila dispersa em água; IF: índice de floculação; MO: matéria orgânica do solo; Ds: densidade do solo; MNAT: mata nativa; MPIS: sistema silvipastoril; PDEG: pastagem degradada; CBAN: cultivo de banana. Média de 20 repetições.

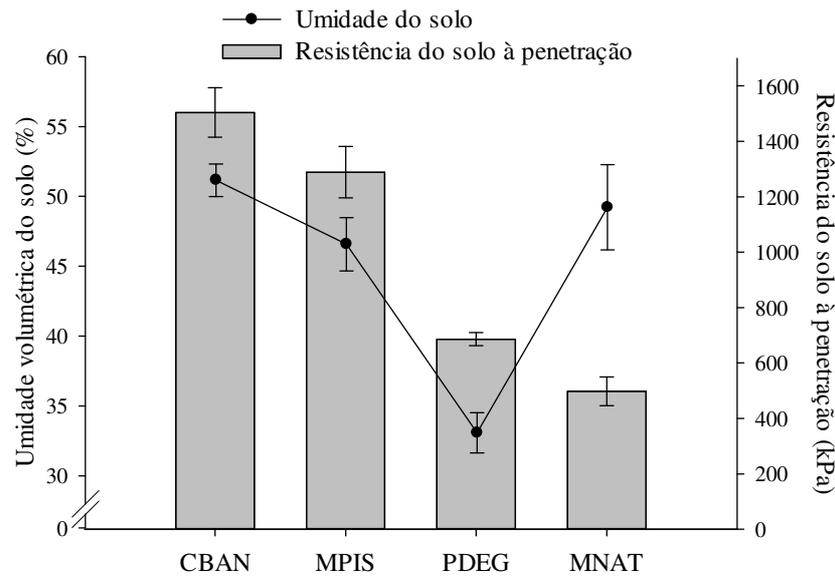
O ensaio de RP do solo foi realizado com um penetrômetro digital de esforço manual, modelo PLG1020, da empresa Falker Automação Agrícola. O ensaio foi realizado até a profundidade de 0,40 m, com o cone Tipo 2 – 12,83 mm (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 2000). A RC do solo foi determinada pelo ensaio de palheta (Vane Test). Utilizou-se uma palheta de seção cruciforme, a qual foi cravada no solo e submetida ao torque necessário para cisalhar o solo por rotação (NBR 10905/89 - Solo - Ensaio de palheta *in situ*, VT). Após a introdução da palheta no solo, na profundidade entre 0 e 5 cm, posicionou-se a unidade de torque e medição, zerou-se o instrumento e aplicou-se imediatamente o torque, com velocidade de 0,1 a 0,2 graus/segundo. A umidade do solo foi determinada a cada coleta, *in situ*, utilizando-se um TDR modelo ML2X da Delta – T Devices Ltd, com 3 hastes de 0,06 m de comprimento. Foram ajustadas regressões lineares com os valores médios de RP e RC e suas umidades correspondentes.

A sistematização dos dados foi feita por planilhas eletrônicas desenvolvidas especificamente para o estudo, utilizando o programa Excel 2007. Nos gráficos (Figura 1 e 2), para efeito de comparação entre as médias, optou-se por colocar a barra de erros com o erro padrão de média, por ser a mais adequada, segundo Paes (2008), quando se trata de fazer inferências sobre as médias. A construção de gráficos foi realizada por meio da versão demonstrativa do aplicativo Sigma Plot 12.0 (Systat Software Inc). As comparações entre as

regressões foram feitas utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares, descrito em Snedecor e Cochran (1989), o qual considera dois modelos, e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F) (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores médios de resistência do solo à penetração e da umidade volumétrica para os usos MNAT, MPIS, PDEG e CBAN. O CBAN foi o uso que apresentou o maior valor de RP, seguido pelo uso MPIS e PEDG. A MNAT foi uso que apresentou o menor valor de RP, sendo que todos os usos foram diferentes entre si. Diferentes usos do solo apresentando maiores valores de RP em relação à área controle (neste estudo, MNAT) também foram encontrados por Ralisch et al. (2008). Já a umidade de campo na realização deste ensaio, mostrou os usos MNAT, MPIS e CBAN com os maiores valores. A PDEG foi o uso que apresentou o menor valor de umidade. As áreas de estudos que apresentam maior cobertura vegetal (CBAN, MPIS e MNAT), naturalmente apresentaram maiores valores de umidade do solo em relação à pastagem. Oliveira et al. (2005), trabalhando num Argissolo intermediário para Cambissolo com diversas culturas, citam que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura e umidade do solo.



**Figura 1.** Resistência do solo à penetração média e umidade de campo média num Cambissolo para os usos mata nativa (MNAT), sistema silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN).

O menor valor médio de RP na MNAT (Figura 1) pode ser atribuído ao menor valor médio de Ds (Tabela 1) e maior de umidade de campo. Já para o CBAN e MPIS, os valores encontrados para RP e umidade foram elevados, podendo então, estes elevados valores de RP ser atribuído aos maiores valores de Ds e da fração argila encontrados em relação à MNAT. Vale salientar também, que os menores valores da fração argila foram encontrados na MNAT. Smith et al. (1997), trabalhando com 29 classes de solo sob floresta, verificaram que para solos com valores de argila até 30%, o conteúdo da fração argila e a MO influenciaram a relação entre RP e Ds e umidade. Porém, neste estudo não se observou relação entre os teores de MO (Tabela 1) com a RP nos usos analisados.

Já na Figura 2 são apresentados os valores médios de resistência do solo ao cisalhamento e umidade volumétrica de campo para os usos MNAT, MPIS, PDEG e CBAN. O comportamento da umidade volumétrica no campo é o mesmo discutido anteriormente para RP. O maior valor de RC observado foi no uso PDEG, seguido pelos usos MPIS e CBAN.

No solo sob pastagem o maior efeito do pisoteio animal nesses primeiros centímetros resultou no elevado valor de RC. Resultados semelhantes foram encontrados por Pires (2007). Este autor, também considerando a mata nativa como referência, encontrou maior resistência ao cisalhamento no solo sob pastagem e considerou que este uso altera a estrutura do solo, influenciando a capacidade de suporte de carga em solos. Observa-se ainda, que o maior valor médio de RC na PDEG

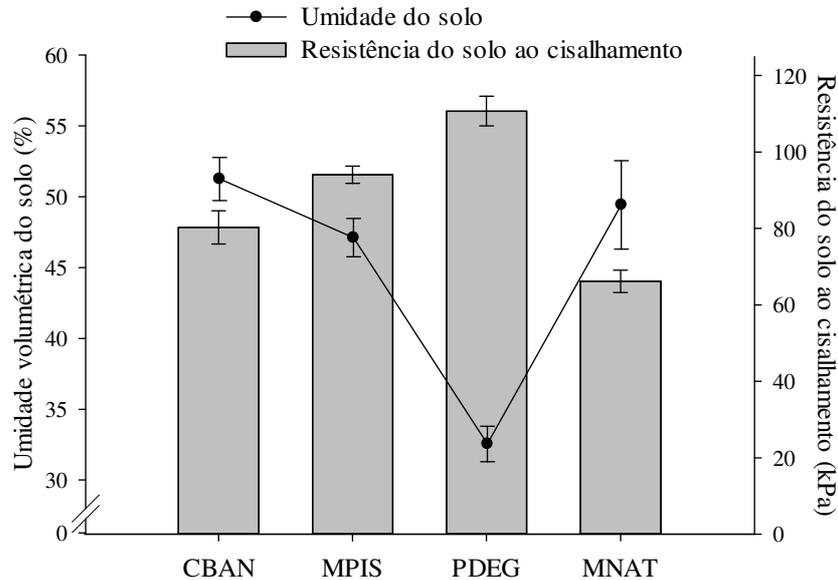
está associado ao maior valor de ADA e menor valor de IF (Tabela 1). Segundo Almeida et al. (2009), maiores teores de ADA e, conseqüentemente, diminuição do IF, ocorrem devido às grandes pressões exercidas no solo, que modificam a interação das partículas minerais.

A MNAT foi o uso que apresentou a menor resistência do solo ao cisalhamento e o menor valor de Ds. De forma semelhante, Silva e Cabeda (2005), verificaram que os atributos relacionados com o cisalhamento do solo foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo, sendo os solos sob mata apresentando menor resistência ao cisalhamento e menor Ds em relação aos solos manejados.

A presença ou ausência de diferenças na RP entre sistemas de manejo podem ser confundidas com influências de diferentes teores de água do solo (CHANCELLOR, 1977). Dessa forma, é importante o controle do teor de água na determinação da RP (ASSIS et al., 2009), pois permite, assim, evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo.

Assim, vale salientar que a realização destes ensaios (RP e RC) ocorreu com as condições de campo, ou seja, com umidades volumétricas encontradas no campo quando da realização dos ensaios. A umidade altera a coesão entre as partículas do solo (BELTRAME et al., 1981) e, quando o solo está seco ou apresenta baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa (SILVEIRA et al., 2010), podendo promover elevados valores de resistência do solo. Portanto, para uma melhor comparação entre os

usos do solo, foram obtidas regressões entre os valores de resistência do solo em função das umidades volumétricas.



**Figura 2.** Resistência do solo ao cisalhamento médio e umidade de campo média num Cambissolo para os usos mata nativa (MNAT), sistema silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN).

No Tabela 2 é possível observar algumas condições de homogeneidade e não significância dos coeficientes angulares e lineares (SNEDECOR; COCHRAN, 1989), obtidas entre os usos MNAT e PDEG para RP e entre os usos, CBAN, MPIS e PDEG para RC. Desta forma, todos os valores de RP ou RC em função da umidade volumétrica

foram plotados e ajustados a um novo modelo (Figura 3 – RP e Figura 4 – RC). A homogeneidade e a não significância entre os coeficientes, indicam que os modelos possuem o mesmo comportamento, podendo as informações de dois ou mais modelos ser atribuída a um único modelo.

**Tabela 2.** Teste de significância segundo Snedecor e Cochran (1989) para os modelos de resistência do solo à penetração e resistência do solo ao cisalhamento, todos em função de umidade volumétrica, para os diferentes usos do solo em áreas de preservação permanente.

Uso	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
<b>Resistência do solo à penetração</b>			
MNAT Vs PDEG	H	NS	NS
MPIS Vs CBAN	H	NS	**
MNAT e PDEG Vs MPIS	H	NS	**
MNAT e PDEG Vs CBAN	NH	**	**
<b>Resistência do solo ao cisalhamento</b>			
MPIS Vs PDEG	H	NS	NS
MPIS e PDEG Vs CBAN	H	NS	NS
MPIS, PDEG e CBAN Vs MNAT	NH	NS	**

NH: Não Homogêneo, H: Homogêneo, \*\*: Significativo ( $p < 0,01$ ) e NS: Não Significativo.

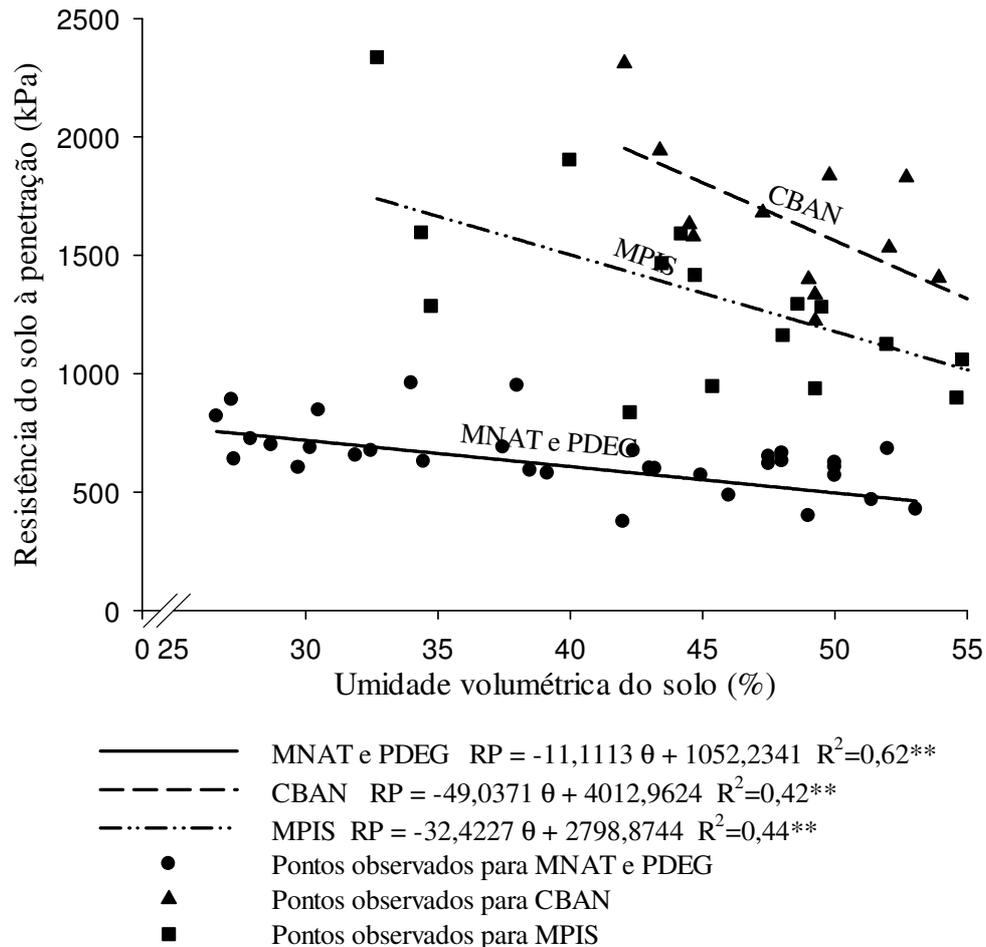
Para todos os usos do solo, os valores de RP diminuíram com o aumento da umidade volumétrica do solo (Figura 3). Resultados semelhantes foram observados por vários autores, como Cunha et al. (2002), Dias Junior et al. (2004) e Assis et al. (2009). De maneira semelhante, os valores de RC aumentaram com o decréscimo da umidade

volumétrica do solo (Figura 6). Para Sidorchuk (2002) a umidade pode influenciar na resistência ao cisalhamento do solo, confirmando o observado por Silva et al. (2004), de que as envoltórias de RC diferiram conforme a umidade. A diminuição da resistência do solo em função do menor conteúdo de água no solo observado tanto para RP quanto para

RC, se deve ao fato de que o aumento no teor de água do solo decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição na resistência mecânica do solo (ASSIS et al., 2009).

Os usos CBAN e MPIS apresentaram os maiores valores de RP (Figura 3), em relação aos demais usos (MNAT e PDEG), indicando que estes solos sob estes usos podem apresentar maiores problemas de compactação, restringindo o crescimento radicular e diminuindo a infiltração de

água, podendo promover sérios problemas com erosão do solo. Valores de RP em torno de 2000 kPa são considerados como limitantes ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas (LAPEN et al., 2004; BLAINSKI et al., 2008). Neste trabalho valores de umidade de 41 e 24 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente para o CBAN e MPIS, apresentam a RP em torno de 2000 kPa, logo, valores de umidade menores podem ser prejudiciais ao crescimento radicular, por proporcionar valores de RP maiores que 2000 kPa.



**Figura 3.** Nova regressão linear entre a resistência do solo à penetração média e a umidade de campo num Cambissolo para os usos, cultivo de banana (CBAN), sistema silvipastoril (MPIS) e pastagem degradada (PDEG) e mata nativa (MNAT) após o teste de Snedecor e Cochran (1989).

Nas áreas cultivadas com banana (CBAN), mesmo não havendo o tráfego de máquinas, as práticas culturais realizadas provavelmente alteraram a RP, resultando em uma alteração na capacidade de suporte de carga em relação à mata nativa e demais usos do solo. Conforme demonstrado por Dias Junior et al. (2004), que encontraram relação direta entre a capacidade de suporte de carga medida pela preconsolidação com a RP.

Segundo Godefroy e Jacquin (1975), as quantidades de resíduos restituídas ao solo pela cultura da banana são as mesmas de uma floresta tropical, porém na floresta tropical há maior regularidade de restituição, o que pode propiciar produções permanentes e mais frequentes de substâncias húmicas, resultando em melhor qualidade física do solo. Neste trabalho os teores de MO do solo no CBAN foram maiores ao da MNAT, mas este resultado não foi o suficiente em promover

melhor qualidade do solo, pois os valores de Ds do solo nas áreas de banana foram superiores as áreas de MNAT. Resultado semelhante foi observado por Borges et al. (1999), onde as áreas sob cultivo de banana também apresentaram maiores valores de Ds em relação à mata na camada superficial (0-9 cm), além de menores valores de macroporosidade e microporosidade.

Os usos MNAT e PDEG apresentaram os menores valores de RP. Isso pode ser explicado devido ao fato de que a MNAT naturalmente apresenta uma melhor estruturação do solo devido ao equilíbrio que este sistema se encontra, com isso proporciona as menores resistências. A PDEG foi semelhante à MNAT (Tabela 2), indicando a melhor eficiência do sistema radicular das gramíneas na estruturação do solo. Silva e Mielniczuk (1997) citam que as gramíneas podem ser usadas como plantas recuperadoras das unidades estruturais do solo, principalmente em áreas degradadas, pois estas preservam o solo contra a erosão e aumentam a reserva de matéria orgânica, melhorando suas propriedades físicas (SANTIAGO, 1997). Brandão (2009) afirma que as gramíneas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e entre agregados, o que contribui para uma melhor estruturação do solo ao longo do perfil. Resultados observados na área sob PDEG também foram observados por Ralisch et al. (2008), que analisando o comportamento da resistência do solo à penetração num Latossolo Vermelho Amarelo em diversos usos do solo, verificaram que o sistema pastagem foi um dos manejos em que os perfis de resistência do solo à penetração mais se aproximaram do solo natural.

O uso CBAN apresentou o maior valor de coeficiente angular, indicando a maior influência da RP com a variação de umidade, em relação aos demais usos do solo. Portanto, fica caracterizado que neste uso, os cuidados devem ser maiores, pois pequenas variações podem alterar bastante a resistência mecânica deste solo. Da mesma forma, Araujo et al. (2007) verificou que aumento dos valores de RP com o decréscimo da umidade foi encontrado com maior magnitude no solo cultivado e destacou que isso pode estar associado com a maior coesão entre as partículas minerais (KAY; ANGERS, 1999).

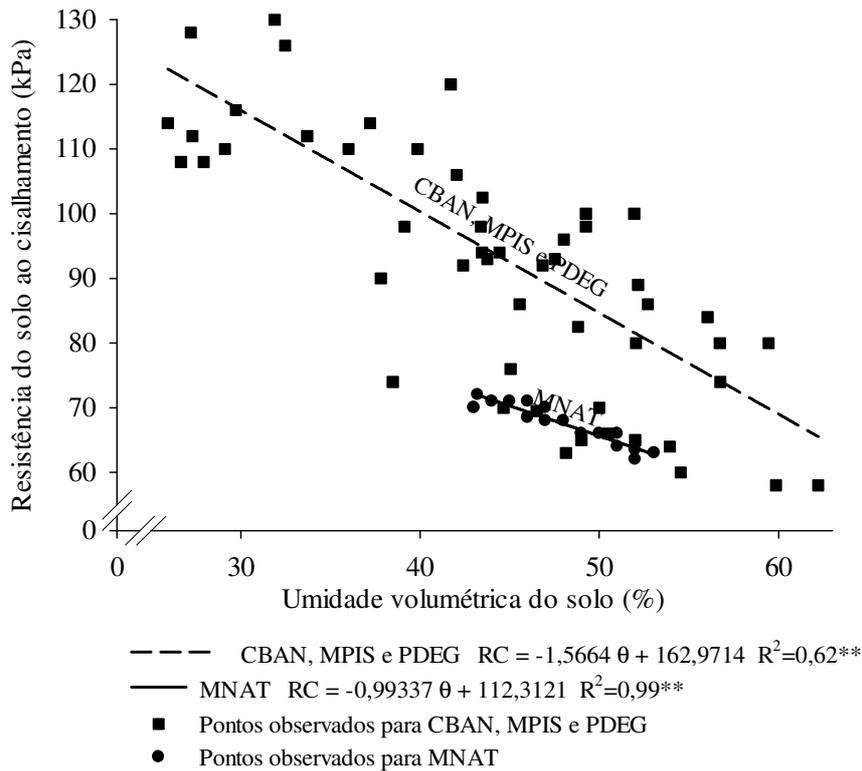
Os usos CBAN, PDEG e MPIS apresentaram os maiores valores de RC, em relação à MNAT (Figura 4), indicando que estes solos sob estes usos apresentaram maiores problemas com compactação do solo. No entanto, os solos sob

MNAT podem apresentar maior susceptibilidade a erosão, pois foi o uso que apresentou os menores valores de RC, ou seja, menor resistência do solo ao desprendimento de partículas. Em seu trabalho, Misra e Teixeira (2001) verificaram que a concentração de sedimentos erodidos foi maior para solos com menores resistências ao cisalhamento. Isso porque o desprendimento das partículas do solo ocorre onde as tensões cisalhantes superam a resistência ao cisalhamento, seja pelo impacto das gotas de chuva ou pela força de escoamento das enxurradas. Deste modo, a conversão da MNAT em outros usos do solo em APP's pode, em curto prazo, desencadear um processo erosivo, antes inexistente nestas áreas. Portanto, a conservação da vegetação nativa de uma determinada área auxilia na proteção do solo contra o impacto da gota de chuva e consequentemente contra o desprendimento das partículas do solo.

A menor RC encontrado para a condição natural (M NAT) em relação aos demais usos do solo neste estudo estão em desacordo com os resultados obtidos por Silva et al. (2004), onde estes autores verificaram maior resistência mecânica nos solos com condição natural em relação aos demais manejos estudados (semeadura direta e preparo convencional), atribuindo estes resultados ao mecanismo de emaranhamento, ocasionado pelas raízes, entre outras, como teor de matéria orgânica do solo. Já a menor RC da MNAT pode ser um resultado da menor Ds encontrada neste Cambissolo Háplico (Tabela 1). Rocha et al. (2002) encontrou para um Cambissolo Háplico a menor resistência ao cisalhamento do solo, sendo consequência do menor grau de evolução genética, atribuído pelo maior teor de silte desta classe, conferindo menor grau de estruturação de suas partículas.

Portanto a identificação do uso agrícola do solo que mais degrada a estrutura é de extrema importância, principalmente nestas áreas laterais aos cursos d'água sob esta classe de solo (Cambissolo), onde a energia cisalhante da enxurrada é mais acentuada, proporcionando erosão laminar e até o surgimento de voçorocas (Rocha et al., 2002).

Da mesma forma que a RP, o maior valor de coeficiente angular para RC foi encontrado para o modelo que descreve o comportamento dos solos manejados agricolamente (CBAN, MPIS e PDEG), indicando a maior influência da RC com a variação de umidade, caracterizando, portanto, que a utilização agrícola destes solos de APP, deve ser acompanhada de maiores cuidados, pois pequenas variações podem alterar bastante a resistência mecânica e a capacidade de suporte de carga destes solos.



**Figura 4.** Nova regressão linear entre a resistência do solo ao cisalhamento e a umidade de campo num Cambissolo para os usos, cultivo de banana (CBAN), sistema silvipastoril (MPIS) e pastagem degradada (PDEG) e mata nativa (MNAT) após o teste de Snedecor e Cochran (1989).

## CONCLUSÕES

O uso do solo em áreas de preservação permanente degrada a estrutura do solo,

modificando sua resistência à penetração e ao cisalhamento em relação à mata nativa.

O cultivo de banana em áreas de preservação permanente é o uso que mais causa compactação à estrutura do Cambissolo Háplico.

**ABSTRACT:** The soil resistance to penetration and shear can be used as indicators of soil compaction and to indicate the susceptibility of a soil to erosion. The objective of this study was to quantify and compare the impact provided by different land uses in a haplic cambissol in areas of permanent preservation, from the soil resistance to penetration and shear. The experimental area was located in an area of permanent preservation, the sub-basin of the Ribeira Iguape River – SP, with different land uses: banana cultivation - CBAN, degraded pasture - PDEG, silvopastoral system - MPIS and native forest – MNAT. The test for resistance to penetration was accomplished with a digital penetrometer compaction of manual effort, to a depth of 40 cm. The soil shear strength was determined by Vane Test at a depth between 0 and 5 cm. The degraded pasture was similar to native forest, with less resistance to penetration. The banana cultivation and silvopastoral system were the land uses with the highest resistance to penetration, bringing serious risk of erosion in areas of permanent preservation. The soil under native forest had lower shear strength. The cultivation of bananas, degraded pasture and silvopastoral system were the land uses with higher shear strength of soil, indicating that the use of these soils in areas of permanent preservation is promoting the same compression.

**KEYWORDS:** Compaction. Erosion. Modeling. Soil quality.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer**. Saint Joseph, 2000. 833 p.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 115-131, 2011.
- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.
- AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa, MG**. 1999. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- BASTOS, C. A. B. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. Disponível em: <<http://www.dmc.furg.br/geotecnia/sccii/download/resistencia.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2008.
- BELTRAME, L. F. S.; GONDIN, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BENDER, H. Erosion: um probleme de resistance au cisaillement em fonctio duchemin des contraintes pendant infiltration. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANIS IN TROPICA LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1985, Brasília. **Anais...** Brasília: ABMS, 1985. p. 15-25.
- BENDINI, H. N.; SILVA, R. B. Uso do NDVI e modelo linear de mistura espectral na determinação de áreas de interesse para estudos do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ribeira do Iguape. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.
- BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: **American Society of Agronomy**, v. 1, p. 363-375, 1986.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 1019-1025, 1999.
- BRANDÃO, E. D. **Efeito do sistema radicular da *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho**. 2009. 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2009.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 997-1003, 1999.
- CHANCELLOR, W. J. **Compaction of soil by agricultural equipment**. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Sciences, 1977. 53 p. (Bulletin, 1981)

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, p. 1-7, 2002.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. Part I., p. 545-567. (Agronomy Monograph, 9)

DEXTER, A. R. & YOUNGS, I. M. Soil physic toward 2000. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 101-106, 1992.

DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 805-810, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

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

KAY, B. D.; ANGERS, D. A. **Soil structure**. In: A. SUMNER, M. E., ed. *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, CRC Press, 229-276, 1999.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. DA S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Soil physical attributes in integrated cattle raising-crop production system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G. & CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 78, n. 2, p. 151-170, 2004.

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

MISRA, R. K.; TEIXEIRA, P. C. The sensitivity of erosion and erodibility of forest soils to structure and strength. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 81-93, 2001.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

PAES, A. T. Desvio padrão ou erro padrão: qual utilizar? **Einstein Educação Continuada em Saúde**, São Paulo, v. 6, p. 107-108, 2008.

PIRES, B. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 36-42, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. CD-ROM

ROCHA, W. W.; DIAS JUNIOR, M. S.; LIMA, J. M.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, A. R. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 297-303, 2002.

SANTIAGO, R. D. **Agregação do solo: efeito de diferentes gramíneas na formação e estabilização**. 1997. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1997.

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

SIDORCHUK, A. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. **Catena, Amsterdam**, v. 709, p. 312-328, 2002.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 165-173, 2004.

SILVA, R. B.; IORI, P. & SILVA, F. A. M. Proposição e validações de equações para estimativa da erosividade de dois municípios do estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 533-547, 2009.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 659-667, 2010.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A. & LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forest soils. **Geoderma, Amsterdam**, v. 78:93-111, 1997.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503p.

TEIXEIRA, L. A. J.; SPIRONELLO, A.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. Banana. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 131-132. (Boletim Técnico, 100)

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 333-339, 1996.