



## ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO MANEJADO COM DOIS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS NO PLANTIO DIRETO

Júnior Régis Batista Cysne<sup>1</sup> | Ciro de Miranda Pinto<sup>2</sup> | Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Agronomia/Fitotecnia/Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE-Brasil. E-mail: (junior.cysne@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutor em Agronomia/Fitotecnia/Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE-Brasil

<sup>3</sup>Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia/ Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE- Brasil

Recebido em: 06/10/2012 – Aprovado em: 15/11/2012 – Publicado em: 30/11/2012

### RESUMO

A rentabilidade no campo esta relacionada à manutenção da estrutura do solo e sua fertilidade ao longo dos anos. Algumas características do solo como densidade, porosidade e reservas de matéria orgânica são importantes na formação de agregados e estrutura do solo. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Lavoura Seca, Quixadá, Ceará, Brasil, localizada na região semiárida, com o objetivo avaliar o comportamento das coberturas vegetais proporcionadas pela vegetação natural; milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphyodes*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench); e a formada no cultivo convencional (testemunha) em dois sistemas de plantio direto SPD 1 (rotação do milho em sucessão ao feijão-caupi) e SPD 2 (rotação do feijão-caupi em sucessão ao milho). As características do solo avaliadas foram densidade, densidade de partículas, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e umidade na profundidade de 0 a 20 cm. As coberturas mortas testadas aumentaram a densidade do solo, reduziram a macroporosidade e porosidade total e não afetaram a microporosidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de cultivos, densidade do solo, porosidade do solo, semiárido, sustentabilidade

### SOIL PHYSICS CHARACTERISTICS FROM RED YELLOW ARGISSOL SUBMITTED TO TWO MINIMUM TILLAGE CROP ROTATION SYSTEMS

#### ABSTRACT

The farm profit is related with the conservation of the fertility and structure of the soil through the years. Soil physics characteristics as density; porosity and organic matter are important for the formation of aggregates and soil structure. This work was conducted at the semiarid conditions of Dry Farm Experimental Station, located at Quixada county, Ceará, Brazil, with the objective to evaluate the behavior different types of straw originated from natural vegetation, millet (*Pennisetum americanum* sin. *tiphyodes*), brachiaria grass (*Brachiaria brizantha*); forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and conventional tillage, under two minimum tillage systems SPD1

(rotation of corn following cowpea) and SPD2 (rotation of cowpea following corn). The soil characteristics evaluated were density, particle density, total porosity, micro and macro porosity and humidity at a depth of zero to 20 cm. Under the straws tested the soil density increased, the macro and total porosity decreased and the micro porosity was not changed.

**KEYWORDS:** Tillage systems, soil's density, soil's porosity, semiarid, sustainability

## 1. INTRODUÇÃO

Agricultura é dependente do solo, uma vez que se trata de um recurso não renovável, de cuja conservação o homem é responsável. Faz-se necessário a utilização de práticas de manejo que propiciem condições adequadas ao desenvolvimento e à produtividade das culturas (OADES, 1984).

Os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas como permeabilidade, estrutura, densidade e espaços porosos agronomicamente desejáveis. Entretanto, à medida que são trabalhados mecanicamente, fora do teor ideal de umidade, ocorrem consideráveis alterações físicas (SILVA, 2004).

A retirada da cobertura vegetal seguida do cultivo convencional dos solos aceleram a decomposição da matéria orgânica, provocando a compactação e a pulverização dos agregados na camada superficial, tornando-os muito suscetíveis à erosão (PELÁ, 2002).

O estudo da relação entre o uso do solo e a modificação de seus atributos é um importante instrumento na análise de produtividade e da consequente escolha das técnicas de manejo a serem adotadas em uma determinada área.

Do ponto de vista agrícola, para a estrutura do solo são atribuídas propriedades fundamentais nas relações solo-planta. NOVAIS *et al.*, (2007) destacam que a estrutura é alterada por mudanças no clima, da atividade biológica e por práticas de manejo do solo, sendo ainda vulnerável a forças de natureza mecânica e físico-química.

A implantação de sistemas de manejo que promovam o mínimo de alterações no solo, mantendo os restos culturais na superfície deste, propiciando maior proteção do solo devido ao contínuo aporte de resíduos orgânicos e favorecendo a manutenção da agregação, uma vez que não ocorre a destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo de solo (NOVAIS *et al.*, 2007).

A compactação do solo é o processo de decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, seja por máquinas agrícolas, equipamentos ou animais (LIMA, 2004). Segundo BEUTLER *et al.*, (2002), a compactação reflete-se no aumento da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e da microporosidade, com redução da porosidade total e da macroporosidade. STARTSEV & MCNABB (2001) acrescentam que a compactação reduz a infiltração de água, intensificando a erosão e o assoreamento dos mananciais de água.

Segundo NOVAIS *et al.*, (2007) quando os restos culturais são mantidos como cobertura do solo, normalmente a densidade do solo e a microporosidade aumentam nas camadas superficiais, sendo isto atribuído ao não revolvimento do solo. As raízes das plantas estimulam a agregação do solo com o suprimento dos resíduos orgânicos liberados quando da decomposição do seu sistema radicular (OADES, 1984).

SILVA & ROSOLEM (2001) avaliando o crescimento radicular, produção da matéria seca da parte aérea e das raízes de coberturas com aveia preta, guandu, milho, mucuna preta, sorgo e tremoço azul em semeadura direta, observaram que em solo arenoso a densidade crítica para desenvolvimento destas plantas é superior a  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  e que o milho foi a cobertura que produziu mais matéria seca em solos com compactação sub superficial. Ainda neste estudo, o guandu e o tremoço azul foram os que apresentaram os piores desempenhos em relação às propriedades do solo.

BEUTLER (1999), estudando alguns parâmetros físicos em diferentes sistemas de manejo de solo no Cerrado, observou que no plantio direto o diâmetro médio dos agregados foi 1,86 vez superior ao observado no plantio convencional, na profundidade de 0 a 5 cm, sendo o teor de matéria orgânica também mais elevado nesta profundidade. SECCO *et al.*, (1997), em um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso, encontrou uma porosidade total de 0,53 e  $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , macroporosidade de 0,20 e  $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , e microporosidade de 0,32 e  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para plantio direto e sistema convencional, respectivamente, na profundidade de 0 a 7 cm.

ANDREOLA *et al.*, (2000) avaliando a influência do cultivo da aveia preta e nabo forrageiro nas propriedades físicas, associados a adubação orgânica, mineral, orgânica + mineral e com esterco de aves, observaram que a prática da adubação reduziu a estabilidade dos agregados maiores que 4,76 mm e aumentou nas classes de diâmetro menor 4,76 a 2,00 e 2,00 a 1,00 mm, na camada de solo 0 a 10 cm. Foi observado que o adubo orgânico promoveu o aumento da macroporosidade e diminuiu a densidade do solo, enquanto que a adubação orgânica + mineral reduziu a macroporosidade e aumentou a microporosidade e a densidade do solo.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência de quatro tipos de coberturas vegetais usados num sistema de plantio direto e plantio convencional nas propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Quixadá - Ceará.

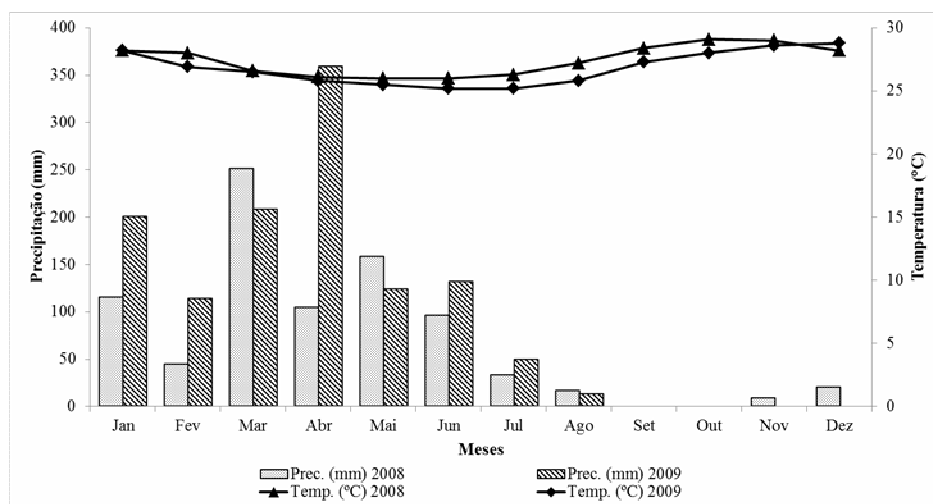
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Lavoura Seca, Quixadá, Ceará, pertencente à Universidade Federal do Ceará, nos anos de 2008 e 2009.

O município de Quixadá está localizado geograficamente na microrregião do Sertão Central do estado do Ceará, com coordenadas S:  $4^{\circ} 59'$  e W:  $39^{\circ} 01'$ , altitude de 190 m (BRASIL, 1973).

O clima da região é classificado conforme Köppen como semiárido do tipo BsH, quente e seco. O município apresenta precipitação pluviométrica média de 873,3 mm, temperatura média anual de  $26,7^{\circ}\text{C}$ , e umidade relativa do ar de 70% (BRASIL, 1973).

As médias mensais de temperatura e precipitação pluviométrica, dos anos 2008 e 2009 (Figura 1) foram obtidas no acervo da Estação meteorológica da Fazenda Lavoura Seca.



**FIGURA 1.** Temperatura e precipitação pluvial média.

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do experimento foram retiradas, da área experimental, amostras de solo coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm para determinação das características físicas e químicas, realizadas no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, conforme consta na (Tabela 1).

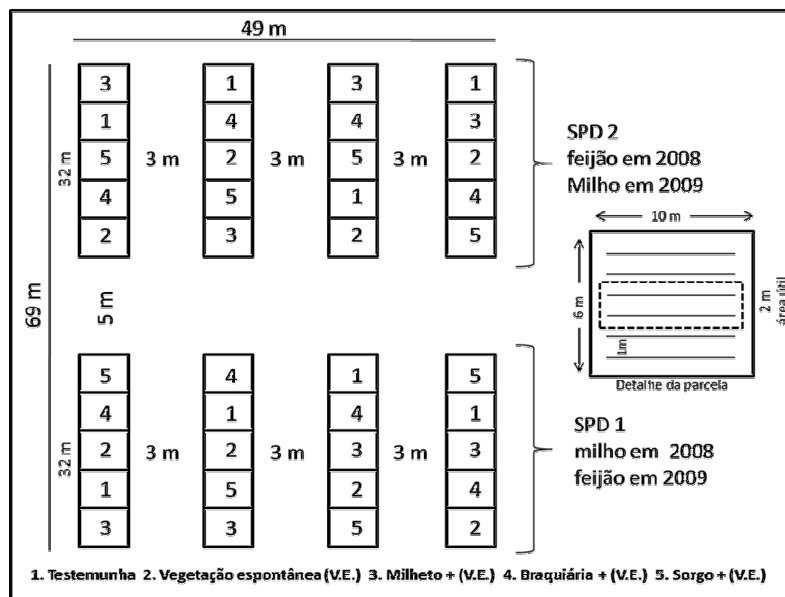
**TABELA 1.** Granulometria e características químicas do solo das áreas experimentais.

Área *	Ano	Granulometria			pH H <sub>2</sub> O	M.O.	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>
		Areia	Silte	Argila							
		g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		
1	2008	760	180	60	6,3	8,59	0,005	0,20	1,70	2,30	0,16
2	2008	760	180	60	6,3	8,59	0,005	0,20	1,70	2,30	0,16
1	2009	755	175	70	5,9	6,21	0,014	0,23	1,30	0,70	1,49
2	2009	755	175	70	5,6	6,83	0,014	0,19	1,70	1,10	1,65

\*Área 1: milho (2008) e feijão-caupi (2009), Área 2: feijão-caupi (2008) e milho (2009).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos.

Foram avaliadas cinco situações de cobertura de solo nos anos agrícolas 2008 e 2009, conforme segue: cobertura natural com milheto (*Pennisetum americanum* sin. *tiphoides*); braquiária (*Brachiaria brizantha*); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench); vegetação natural e a testemunha sem cobertura. As diferentes coberturas foram distribuídas em duas áreas distintas, denominadas SPD 1 e SPD 2, onde em 2008, plantou-se milho, híbrido BR205 e feijão-caupi, cv. Setentão. Em 2009, foram usadas as mesmas coberturas de 2008, porém, na área que recebeu milho no ano anterior plantou-se o feijão-caupi e na área plantada com feijão-caupi plantou-se milho, num sistema de rotação (Figura 2)



**FIGURA 2** - Distribuição dos tratamentos (tipos de cobertura morta) e detalhe da parcela no campo experimental.

A braquiária, milho e sorgo forrageiro usados na formação da cobertura morta foram plantados no início de janeiro dos anos agrícolas de 2008 e 2009, após a ocorrência das primeiras chuvas (Figura 1). Em 2008 o plantio foi realizado a lanço e em 2009 em covas. Após 75 dias do plantio foi realizada a dessecação da cobertura vegetal utilizando-se os herbicidas Glifosato (480 Agripec), na dose de 5 L ha<sup>-1</sup> (correspondendo a 2,4 kg ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) em 2008 e 2009 a mistura Glifosato (480 Agripec) mais 2,4-D (DMA 806 BR). Esta mistura tinha a proporção de 3 L ha<sup>-1</sup> de Glifosato para 2 L ha<sup>-1</sup> de 2,4-D. Após a emergência do milho e do feijão-caupi as plantas naturais foram controladas com Sanson 40 SC na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup> e Podium EW na dose de 1 L ha<sup>-1</sup> nos dois anos agrícolas. Para as aplicações dos herbicidas utilizou-se um pulverizador costal da marca Jacto PJH com capacidade para 20 L.

O milho foi plantado manualmente em covas no espaçamento 1,0 m x 0,4 m e as parcelas tinham seis linhas de 10 m de comprimento, com área total de 60 m<sup>2</sup> e área útil as duas fileiras centrais com 20 m<sup>2</sup>. O plantio foi realizado deixando-se duas plantas por cova, o que corresponde a uma população de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Ao passo que o feijão-caupi foi plantado manualmente em covas no espaçamento 1,0 m x 0,5 m e as parcelas eram compostas por seis linhas de 10 m de comprimento, tendo como área útil as duas linhas centrais com 20 m<sup>2</sup> e área total de 60 m<sup>2</sup>. O plantio foi realizado deixando-se duas plantas por cova, o que corresponde a uma população de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Aos 75 dias do plantio (DAP) das espécies usadas como cobertura morta procedeu-se em cada parcela a coleta de duas amostras das plantas daninhas para avaliação da massa da matéria-seca, utilizando-se um quadrado de madeira de área útil de 0,25 m<sup>2</sup>, o lançamento era feito de costas para evitar tendências durante a coleta do material. Todo o material encontrado dentro do quadrado foi coletado, cortando-se as plantas o mais rente possível ao solo, levadas para laboratório, onde foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas. As amostras

secas foram pesadas e calculadas as massas para  $\text{kg ha}^{-1}$ . Após a coleta das amostras, procedeu-se a dessecação do material remanescente com herbicidas.

O plantio do milho cultivar BR 205 e feijão-caupi cultivar Setentão foi realizado sete dias após a dessecação das plantas daninhas.

Todos os tratamentos para a cultura do milho receberam doses iguais de NPK na formulação de  $70-40-40 \text{ kg ha}^{-1}$  e para cultura do feijão-caupi de  $20-50-30$  as fontes usadas na formulação das misturas foram: ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio respectivamente, de acordo com os resultados da análise química (Tabela 1) e a exigência das respectivas culturas (MALAVOLTA, 1987).

Por ser a ureia a fonte de nitrogênio muito volátil e de fácil lixiviação, foi aplicada em duas vezes para cultura do milho: uma na ocasião do plantio ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a outra 30 dias após emergência utilizando-se ( $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) com os demais nutrientes (P e K) em sulcos distanciados de 20 cm das covas de plantio. Os demais nutrientes foram aplicados de uma vez na cova de plantio (UFC, 1993).

As características físicas do solo, densidade, densidade de partícula, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram avaliadas segundo amostras de solo coletadas na profundidade de 0,0 a 0,2 m. As amostras coletadas uma semana após o plantio do milho e feijão-caupi. Para cada tratamento foi coletada uma amostra por repetição com o amostrador de Uhland (FORSYTHE, 1975) em pontos aleatórios dentro da área útil da parcela.

A densidade do solo ( $\rho_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico e calculada pela equação (1). A densidade de partículas ( $\rho_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico e calculada pela equação (2), (EMBRAPA, 1997).

$$\rho_s = M / VC \quad (1) \qquad \rho_p = M / V_s \quad (2)$$

Em que:

$\rho_s$  é a densidade do solo,  $\text{g cm}^{-3}$ ,  
 $\rho_p$  é a densidade de partícula,  $\text{g cm}^{-3}$ ,  
M é a massa do solo seco, g,  
VC é o volume do anel volumétrico,  $\text{cm}^{-3}$ ,  
 $V_s$  é o volume do solo,  $\text{cm}^{-3}$ .

A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura indeformada, previamente saturadas por 24 horas, utilizando uma unidade de sucção a 60 cm de altura de coluna de água. A porosidade total é o resultado, considerando-se todos os poros existentes no solo, macros e micros e foi obtida pela equação (3). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997), equação (4).

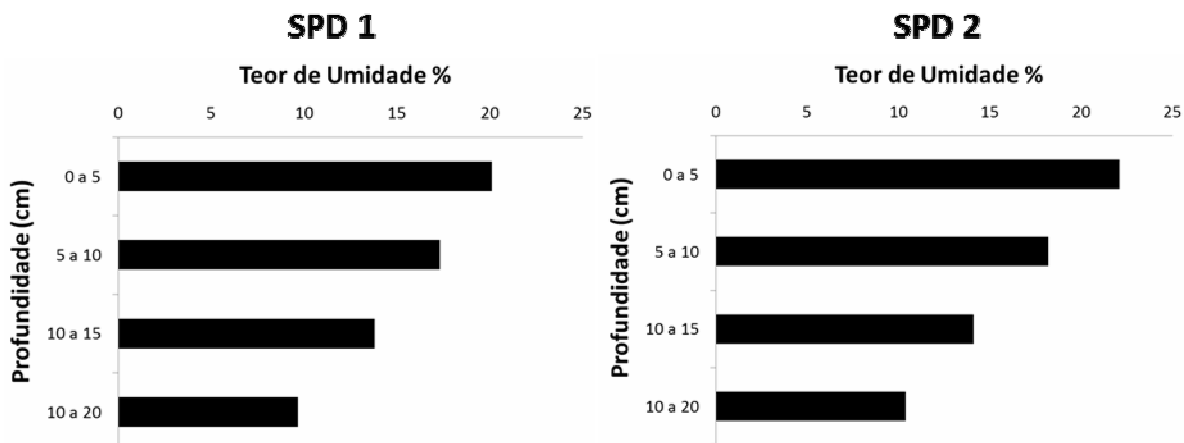
$$P = 1 - \rho_s / \rho_p \quad (3) \qquad Ma = P - Mi \quad (4)$$

Em que:

P é a porosidade total, em %,  
 $\rho_s$  é a densidade do solo,  $\text{g cm}^{-3}$ ,  
 $\rho_p$  é a densidade de partícula,  $\text{g cm}^{-3}$ ,  
Ma é a macroporosidade, em %,  
Mi é a microporosidade, em %.

A resistência do solo a penetração foi medida com penetrômetro de impacto. As leituras com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar (STOLF *et al.*, 1983), foram feitas em dois pontos opostos aos locais de coleta dos anéis volumétricos, totalizando oito amostras em cada parcela. Os cálculos da resistência foram realizados segundo STOLF (1991).

A umidade do solo foi determinada por gravimetria nas camadas de 0,0 a 0,2 m. Para cada camada foram realizadas duas amostragens da umidade do solo e cada faixa de profundidade que são apresentadas na (Figura 3).



**FIGURA 3** - Teores médios de Umidade (%) em cada faixa de profundidade no SPD 1 e SPD 2, em 2008 e 2009.

A análise de variância foi realizada em parcela subdividida de acordo com a significância dos fatores densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do teste F e foram feitas comparações de médias dos tratamentos. Nestas comparações utilizou-se o teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Para tanto, usou-se o ASSISTAT 7,5 beta, Sistema de Análise Estatística da UFCG (SILVA & AZEVEDO, 2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo foi feito sobre as variáveis físicas do solo: densidade do solo (DS), densidade de partícula (DP), porosidade total (PT), microporosidade (MI) e macroporosidade (MA).

Deve-se ressaltar que a apresentação destes resultados constitui na caracterização inicial dos experimentos do SPD 1 e SPD 2, uma vez que não se esperaria que os efeitos dos tratamentos fossem pronunciados, devido ao curto período de tempo transcorrido desde sua instalação.

Para o SPD 1 os atributos DS, DP, PT, MI e MA não diferiram significativamente quando analisados entre as coberturas ( $p > 0,05$ ). Porém entre anos todos os atributos diferiram significativamente entre anos ( $p < 0,01$ ) (Tabela 2).



**TABELA 2** - Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 1.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		DS	DP	PT	MI	MA
Blocos	3	0,00252 <sup>ns</sup>	0,01327	18,81 <sup>ns</sup>	5,61 <sup>ns</sup>	3,91 <sup>ns</sup>
Coberturas (A)	4	0,00529 <sup>ns</sup>	0,00427 <sup>ns</sup>	15,92 <sup>ns</sup>	4,95 <sup>ns</sup>	3,15 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	0,00258	0,0032	9,60	2,76	2,09
Anos (B)	1	0,07529 <sup>**</sup>	0,14237 <sup>**</sup>	868,064 <sup>**</sup>	250,80 <sup>**</sup>	185,67 <sup>**</sup>
A x B	4	0,01384 <sup>ns</sup>	0,00826 <sup>ns</sup>	26,43 <sup>ns</sup>	8,61 <sup>ns</sup>	4,92 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	15	0,04858	0,00437	12,032	3,49	2,59
Média	-	1,57	1,96	19,65	9,67	9,97
C.V. (a)	-	3,23	2,49	15,77	17,19	14,49
C.V. (b)	-	3,63	3,37	17,65	19,32	16,15

DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; MI = microporosidade; MA = macroporosidade; ns = não significativo; \* = significativo (p < 0,05); \*\* = significativo (p < 0,01).

Para o SPD 2 a DS não diferiu significativamente quando analisada entre as coberturas e anos (p > 0,05). Para DP, PT, MI e MA foram detectadas diferenças significativas com coberturas (p < 0,05) e houve diferença significativa entre anos agrícolas (p < 0,01) (Tabela 3).

**TABELA 3.** Resumo da análise da variância conjunta dos atributos físicos do solo avaliados após dois anos em manejo de plantio direto no SPD 2.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		DS	DP	PT	MI	MA
Blocos	3	0,00345 <sup>ns</sup>	0,003742 <sup>**</sup>	23,49 <sup>**</sup>	9,25 <sup>*</sup>	3,29 <sup>*</sup>
Coberturas (A)	4	0,00480 <sup>ns</sup>	0,01006 <sup>*</sup>	11,12 <sup>*</sup>	3,70 <sup>*</sup>	2,05 <sup>*</sup>
Resíduo (a)	12	0,00312	0,00222	2,33	0,61	0,57
Anos (B)	1	0,00331 <sup>ns</sup>	0,24520 <sup>**</sup>	395,925 <sup>**</sup>	137,21 <sup>**</sup>	66,97 <sup>**</sup>
A x B	4	0,00357 <sup>ns</sup>	0,00245 <sup>ns</sup>	2,360 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	15	0,00079	0,00144	0,99	0,33	0,20
Média	-	1,55	2,11	26,50	13,50	13,00
C.V. (a)	-	3,59	2,22	5,76	5,86	5,83
C.V. (b)	-	1,80	1,79	3,76	4,26	3,49

DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; PT = porosidade total; MI = microporosidade; MA = macroporosidade; ns = não significativo; \* = significativo (p < 0,05); \*\* = significativo (p < 0,01).

### 3.1 DENSIDADE DO SOLO E DENSIDADE DE PARTÍCULAS

#### 3.1.1 SPD 1

Os atributos densidade do solo (DS) e densidade de partícula (DP) não diferiram entre anos. Este fato pode estar associado ao curto período de avaliação, correspondente a dois anos.

A DS não diferiu significativamente (p > 0,05) entre as coberturas e o plantio direto. As médias obtidas das densidades do solo (Tabela 4) comprovam que as parcelas experimentais apresentavam-se homogêneas em suas condições iniciais.

No sistema convencional a média da DS foi de 1,58 g cm<sup>-3</sup> para os dois anos, um resultado semelhante foi obtido por *TORMENA et al.*, (2004). Esses valores se devem ao revolvimento do solo com grade de disco à profundidade de 0,20 m, realizado no sistema de cultivo convencional, o que não aconteceu sob sistema de plantio direto, ao se revolver o solo apenas na linha de semeadura.

Os valores de DS (Tabela 4) para as coberturas utilizadas em 2008 variaram entre 1,48 a 1,57 g cm<sup>-3</sup>. Este resultado reflete que os resíduos das coberturas foram incorporados ao solo na forma de matéria orgânica, porém não foram suficientes para modificar a densidade do solo.



Em 2009 os valores DS variaram de 1,57 a 1,65 g cm<sup>-3</sup>, isto é, aumentaram em todos os tratamentos e também não diferiram significativamente entre si, porém diferiram entre anos como é esperado em sistemas iniciais de plantio direto (ALVES & SUZUKY, 2004) (Tabela 4).

PELÁ (2002) estudando o efeito de plantas de cobertura em propriedades físicas do solo encontrou comportamento semelhante ao verificado neste estudo, em que a DS aumentou com o plantio direto e somente diminuiu ao longo de muitos anos sob este sistema.

Este comportamento é corroborado pelos trabalhos de SILVA & ROSOLEM (2001), que atribuem o valor de DS de 1,60 g cm<sup>-3</sup> como crítico para o desenvolvimento de plantas de cobertura.

**TABELA 4** - Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm<sup>-3</sup>), no SPD 1 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milho, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.

Tratamentos	DS				DP			
	2008	2009	Média	Variância	2008	2009	Média	Variância
Convencional	1,51 B	1,65 A	1,58	0,0090	2,02 A	1,90 B	1,96	0,0084
Veg. natural. (VN)	1,55 A	1,62 A	1,58	0,0054	1,96 A	1,89 A	1,93	0,0033
Milheto + VN	1,50 B	1,61 A	1,56	0,0038	2,04 A	1,93 B	1,98	0,0068
Braquiária + VN	1,48 A	1,57 A	1,53	0,0036	2,05 A	1,82 B	1,94	0,0165
Sorgo +VN	1,57 A	1,61 A	1,59	0,0033	2,01 A	1,93 A	1,97	0,0090

\* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de p<0,05.

Para o SPD 1 que teve milho como cultura principal em 2008 os resultados estão de acordo com CUBILLA *et al.*, (2002), que não encontrou diferença significativa nos valores de densidade do solo (DS) entre os tratamentos de plantas de cobertura associadas com milho.

A densidade de partículas (DP) variou entre 1,93 a 1,97 g cm<sup>-3</sup> para o SPD 1 não sendo verificadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de cobertura (Tabela 4).

A DP, como é um atributo físico do solo estável, portanto não sujeito as variações devido ao manejo, as semelhanças estatísticas dos valores já eram esperadas.

Mesmo em pequenas profundidades, não se esperam grandes variações para este atributo do solo, considerando o maior aporte de matéria orgânica na camada superficial (0,0 - 20,0 cm).

A DP diferiu entre anos e em 2009 houve em todos os tratamentos, uma possível explicação para este resultado seria o desenvolvimento do sistema radicular das culturas estariam causando um efeito na variação espacial das partículas do solo.

Os resultados opostos para DP, foram observados por MENDES *et al.*, (2006), não encontrando diferenças significativas entre as áreas em estudo, sendo uma das coberturas utilizadas uma leguminosa, e em diferentes profundidades.

### 3.1.2 SPD 2

No sistema convencional observou-se que a média da densidade do solo (DS) foi de 1,51 g cm<sup>-3</sup>, este valor foi pouco inferior aos 1,58 g cm<sup>-3</sup> obtidos no SPD 1, (Tabelas 4 e 5).

A DS não diferiu para as coberturas estudadas e anos agrícolas. Este resultado é oposto ao verificado pelo SPD 1 em que houve diferença entre anos agrícolas. Este resultado pode ser explicado pela rotação de culturas do SPD 1 ser mais eficiente do que o SPD 2 para alteração neste atributo de solo.

Os resultados obtidos pelos SPD 1 e SPD 2 são divergentes de PELÁ (2002) que obteve valores de DS variando de 1,44 a 1,48 g cm<sup>-3</sup> para milheto, guandu, mucuna preta, crotalária, braquiária e pousio, enquanto que nos SPD 1 e SPD 2 observou-se uma variação de 1,55 a 1,57 g cm<sup>-3</sup>.

**TABELA 5** - Valores médios de densidade do solo e densidade de partículas (g cm<sup>-3</sup>), no SPD 2 no sistema convencional e coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo em Quixadá 2008 e 2009.

Tratamentos	DS				DP			
	2008	2009	Média	Variância	2008	2009	Média	Variância
Convencional	1,55 B	1,54 A	1,51	0,0031	2,16 bA	2,02 aB	2,09	0,0058
Veg. natural. (VN)	1,55 A	1,57 A	1,56	0,0011	2,15 bA	2,00 aB	2,08	0,0081
Milheto + VN	1,58 A	1,56 A	1,57	0,0002	2,23 abA	2,07 aB	2,15	0,0122
Braquiária + VN	1,58 A	1,54 A	1,56	0,0040	2,26 aA	2,05 aB	2,15	0,0226
Sorgo +VN	1,52 B	1,57 A	1,54	0,0024	2,16 bA	2,04 aB	2,10	0,0105

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de p<0,05.

Os valores de densidade de partículas (DP) em 2008 variaram com os tratamentos. As coberturas com braquiária e milheto foram superiores as demais para este atributo (Tabela 5).

As coberturas com vegetação natural adicionadas de milheto e braquiária promoveram a maior DP, uma possível explicação para estas diferenças significativas seria a não homogeneidade do bloco em que foram detectadas diferenças significativas (Tabela 3). Esta afirmação esta de acordo com GUIMARÃES (2000) de que as frações granulométricas são pouco dependentes do uso e manejo a que o solo é submetido, e que este atributo é fixo e a variação é proveniente da própria formação natural do solo.

Em 2009 os valores de DP foram inferiores a 2008, porém a relação da DP com as plantas pode ser considerada como sendo indireta; isso porque os valores altos ou baixos encontrados estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem influenciar mais diretamente no comportamento das plantas (KIEHL, 1979).

### 3.2 DISTRIBUIÇÃO E TAMANHO DE POROS DO SOLO

A análise das características físicas do solo é um importante indicador da sustentabilidade dos diferentes tipos de uso das terras. A porosidade do solo e a relação entre macroporosidade e microporosidade são fatores importantes para avaliação da estrutura do solo.

#### 3.2.1 SPD 1

Em termos de distribuição de poros, verificou-se que a microporosidade (MI) não variou entre as coberturas utilizadas, (Tabela 2). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MI em 2008 para o sistema convencional e coberturas foram superiores aos de 2009 com médias de 12,17 e 7,16%, respectivamente. Em 2009 a cobertura com vegetação natural adicionada de sorgo apresentou a maior média de MI (8,10%) apresentando assim resultado semelhante

em 2008. As demais coberturas utilizadas compuseram um grupo homogêneo e diferiram em relação a 2008 (Tabela 6).

A microporosidade está relacionada com o armazenamento de água no solo, influenciando o desenvolvimento das plantas especialmente nas épocas críticas de suprimento hídrico (VEIGA, 2005).

Este comportamento é oposto ao verificado por PELÁ (2002), que observou um pequeno aumento da microporosidade e da densidade do solo para milheto, guandu, mucuna preta, crotalária, e pousio até 10 cm de profundidade, demonstrando a participação destas coberturas no aumento da microporosidade do solo.

Verificou-se que a macroporosidade (MA) não diferiu entre coberturas utilizadas e somente para os anos agrícolas (Tabela 2). Observando-se os resultados, os valores médios de MA em 2008 e 2009 foram de 12,13 e 7,82%, respectivamente (Tabela 6).

Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MA em 2008 e 2009 se constituíram de blocos homogêneos entre todas as coberturas, porém este resultado pode ser explicado pela grande diversidade de plantas daninhas que possuem sistemas radiculares diferentes ocupando diversos espaços na área de cultivo.

**TABELA 6-** Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 1, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo.

Tratamentos	MI			MA			PT	
	2008	2009	Média	2008	2009	Média	2008	2009
Convencional	12,59 A	6,22 B	9,41	12,53 A	6,89 B	9,71	25,13 A	13,12 B
V. natural (VN)	10,23 A	6,97 B	8,60	10,66 A	7,58 B	9,12	20,89 A	14,55 B
Milheto + VN	13,04 A	8,00 B	10,52	12,88 A	8,60 B	10,74	25,93 A	16,60 B
Braq. + VN	14,20 A	6,54 B	10,37	13,44 A	7,36 B	10,40	27,64 A	13,91 B
Sorgo +VN	10,80 A	8,10 A	9,45	11,12 A	8,66 B	9,89	21,93 A	16,77 A

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de  $p < 0,05$ .

Considerando que os macroporos são a rota primária para o movimento da água no solo, a redução dos mesmos pode restringir a transmissão da água e nutrientes até a zona radical. Em todos os tratamentos, inclusive no convencional, a macroporosidade esteve próxima de 10,0%, nível considerado crítico para as trocas gasosas (REYNOLDS *et al.*, 2002).

Quanto a porosidade do total (PT) verificou-se que não diferiu entre coberturas utilizadas e somente para os anos agrícolas (Tabela 2). Em 2008 todas as coberturas constituíram um grupo homogêneo com uma média de 24,30%. Para o ano de 2009 a média de PT foi de 14,99% e somente a cobertura constituída de vegetação natural adicionada de sorgo teve efeito semelhante ao ano anterior (Tabela 6). Esta redução esta diretamente ligada à quantidade microporos e macroporos do solo que também apresentaram reduções.

### 3.2.2 No SPD 2

A partir da distribuição dos microporosidade (MI), variou de 10,5 a 16,2% diferindo entre coberturas e anos agrícolas (Tabela 7). Analisando cada tratamento, observa-se que os valores médios de MI em 2008 para o sistema convencional e coberturas foram superiores e significativas aos de 2009 com médias de 15,35 e 11,64%, respectivamente. A cobertura com vegetação natural apresentou a menor

média de MI (14,2%) que se diferenciou das demais coberturas com em 2008. Uma explicação para que o sistema convencional tenha apresentado uma grande quantidade de MI seria em razão das duas reduzidas passagens da grade niveladora para preparo da área e incorporação das plantas invasoras que não foram suficientes para degradar a estrutura do solo.

Em 2009 a vegetação natural apresentou a menor média de MI (10,5%) resultado semelhante a 2008, e as demais coberturas formaram um conjunto homogêneo. Comparando-se os resultados do SPD 1 (Tabela 6) para MI (8,6%) e do SPD 2 (Tabela 7) a MI (12,4%), observa-se que rotação feijão-caupi milho teve influência sobre a manutenção e aumento dos microporos, já que estes influenciam o desenvolvimento de plantas em épocas de pouca disponibilidade hídrica do solo.

**TABELA 7** - Valores percentuais de microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo %, no SPD 2, no sistema convencional e nas coberturas de vegetação natural, milheto, braquiária e sorgo.

Tratamentos	MI			MA			PT	
	2008	2009	Média	2008	2009	Média	2008	2009
<b>Convencional</b>	16,2 aA	11,7 abB	14,1	15,2 aA	11,8 abB	13,5	31,5 aA	23,6 abB
<b>V.natural (VN)</b>	14,2 bA	10,5 bB	12,4	13,5 bA	10,8 bB	12,2	27,8 bA	21,3 bB
<b>Milheto + VN</b>	15,2 abA	12,1 aB	13,7	13,9 abA	12,0 abB	12,9	29,2 abA	24,2 aB
<b>Braq. + VN</b>	15,6 aA	12,2 aB	13,9	14,4 abA	12,2 aB	13,3	30,1 abA	24,5 aB
<b>Sorgo +VN</b>	15,3 abA	11,4 abB	13,4	14,2 abA	11,5 abB	12,9	29,5 abA	23,0 abB

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas para linhas e maiúsculas nas colunas, para cada atributo não diferiram entre si pelo teste de Tukey, em nível de  $p < 0,05$ .

Verificou-se que a macroporosidade (MA) variou de 10,8 a 14,4% diferindo para coberturas e para e anos agrícolas (Tabela 7). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de MA em 2008 foram superiores aos de 2009 com médias de 14,3 e 11,7%, respectivamente. O aumento da macroporosidade pode ser atribuído a proliferação de raízes nas camadas sub-superficiais.

A cobertura com vegetação natural em ambos os anos apresentou a menor média de MA (12,2%) e as demais coberturas apresentaram médias superiores e significativas para a MA. Este resultado pode estar relacionado à quantidade de palhada proveniente da parte aérea das plantas estudadas.

Comportamento similar também foi observado por PELÁ (2002), trabalhando com feijão guandu nas camadas de 0 a 0,2 m na região de Jaboticabal-SP. A macroporosidade aumentou na maioria dos tratamentos nas camadas de 0 a 0,2 m, fato também destacado por MACIEL JUNIOR (1999), porém ANDREOLA *et al.*, (2000) trabalhando com nabo forrageiro e aveia preta, observaram efeito contrário ao obtido, pois constataram tendência dos valores de macroporosidade serem menores com aumento da profundidade.

A porosidade total (PT) variou de 21,3 a 31,5% diferindo para coberturas e anos agrícolas (Tabela 7). Analisando cada tratamento, nota-se que os valores médios de PT em 2008 foram superiores aos de 2009 com médias de 29,6 e 23,3%, respectivamente.

Em 2008 e 2009 a cobertura com vegetação natural apresentou a menor média em relação às demais coberturas, esta mesma tendência ocorreu com macroporos e microporos. Este resultado mostra que o uso de culturas de cobertura tende a melhorar características físicas do solo. O sistema convencional também apresentou uma boa porosidade em virtude das melhores condições climáticas efeito da rotação de culturas.

Resultados opostos foram encontrados por BEUTLER (1999) & ROSOLEM *et al.*, (1999) em que a menor porosidade no plantio convencional e nas camadas superficiais pode estar relacionada ao tráfego de máquinas, em especial por ocasião no preparo da área.

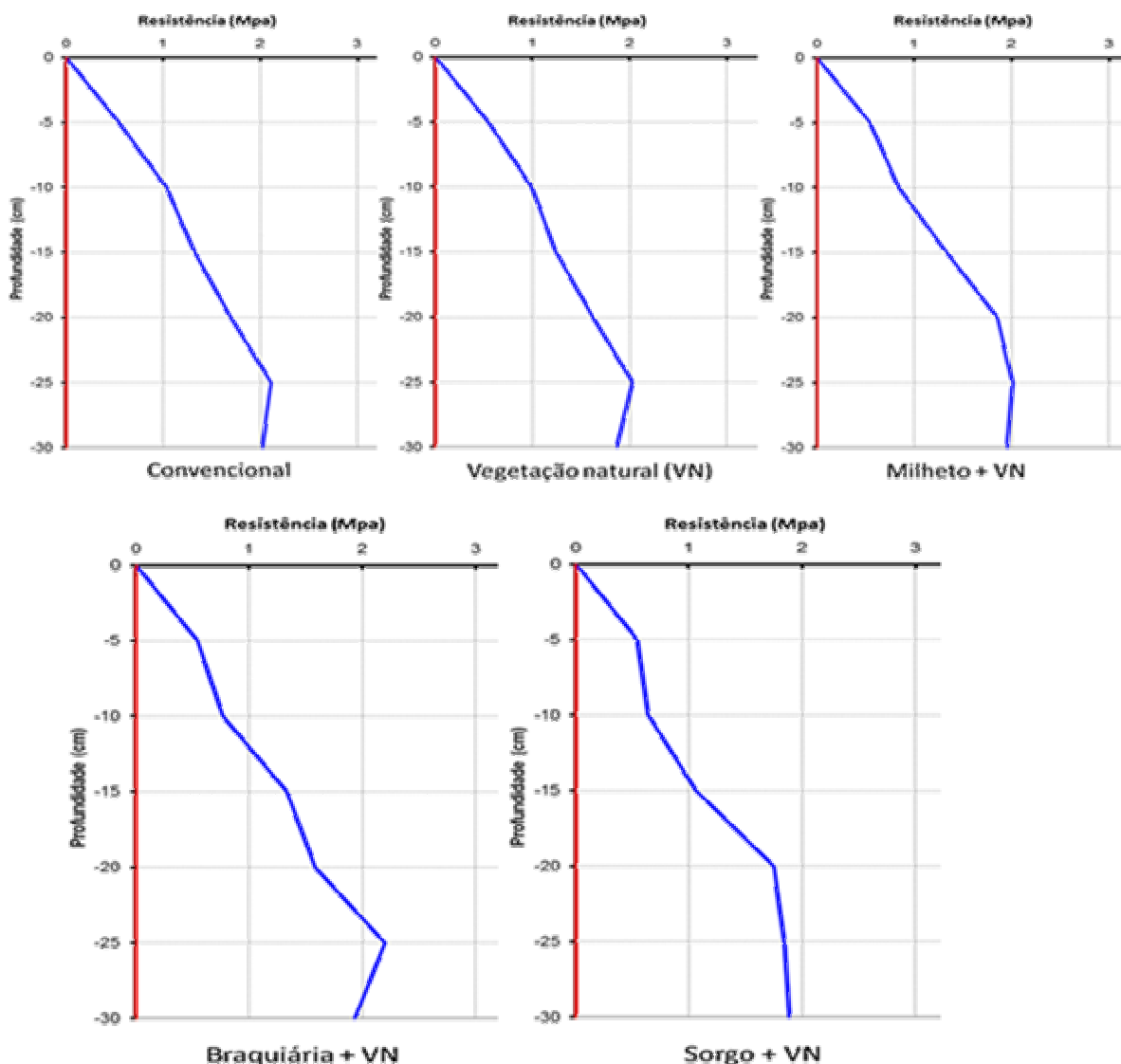
Verificou-se que, nas áreas trabalhadas com plantio direto, houve um aumento na porosidade no SPD 1 em relação ao SPD 2. Constata-se que a rotação de culturas teve influência sobre a porosidade total do solo. Resultado diferente foi obtido por BERTOL *et al.*, (2004), quando observaram um aumento de 3% no volume total de poros, no convencional em relação ao plantio direto, o qual evidenciou que o manejo do solo promoveu para o volume total de poros.

### **3.3 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO**

A resistência do solo à penetração (RP) integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. As coberturas convencional e vegetação natural se comportaram bem diferentes das demais, ocorrendo uma maior RP na faixa mais superficial, entre 0 e 0,10 m. As demais apresentaram RP semelhantes nesta faixa de profundidade (Figura 4).

Na faixa de 0,1 a 0,2 m de profundidade as coberturas com vegetação natural adicionadas de sorgo e braquiária apresentaram menores valores de RP, este resultado pode ser explicado pela melhor germinação destas coberturas durante os anos agrícolas.

Os valores de resistência à penetração, especialmente em subsuperfície, considerados críticos são de 2,0 Mpa (BENGHOUGH & MULLINS, 1990). Vale ressaltar que nenhuma cobertura apresentou valores de RP que ultrapassaram o valor limite de 2 Mpa até a profundidade de 0,2 m sendo inferiores ao limite crítico proposto por TAYLOR *et al.*, (1966) para o desenvolvimento de raízes.



**FIGURA 4.** Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 1.

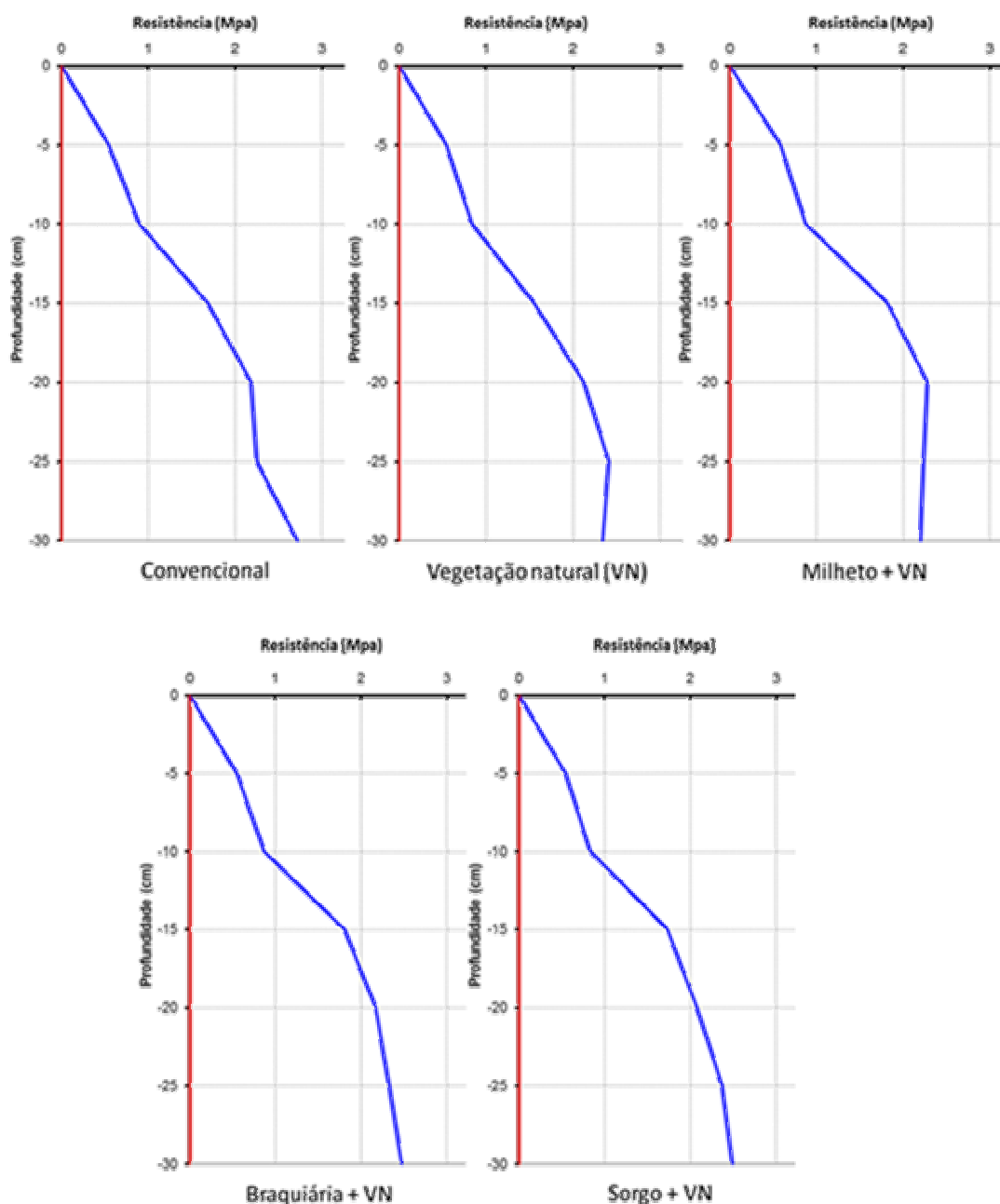
Todas as coberturas constituíram um bloco homogêneo, resultado oposto verificado no SPD 1 (Figura 5).

Na faixa de 0,1 a 0,2 m de profundidade todas as coberturas apresentam valores maiores de RP, chegando a ultrapassar o limite crítico de 2 Mpa a 0,2 m de profundidade.

TAVARES FILHO *et al.*, (2001) observaram que valores de resistência à penetração superiores a 3,5 Mpa não restringiram o desenvolvimento do sistema radicular do milho, porém alteraram a sua morfologia. Ressalta-se que a resistência à penetração normalmente aumenta com o incremento da densidade e redução da umidade do solo, apresentando variabilidade espacial e temporal por influência das condições de manejo dado ao solo (SILVA *et al.*, 2004).

Entretanto, a partir dos 0,20 m de profundidade, observam-se altos valores de resistência o que mostra que a área apresenta maior compactação em profundidade, provavelmente devido ao manejo do solo nestas áreas ao longo dos anos.

Em ambos os SPD, constata-se que a rotação de culturas pouco influenciou na RP, porém o SPD 2 apresentou maiores RP mostrando que existe compactação na área do experimento.



**FIGURA 5.** Linhas de tendência da resistência a penetração de cada tratamento em cada faixa de profundidade sob diferentes coberturas vegetais no SPD 2.

#### 4. CONCLUSÕES

Os sistemas de plantio direto avaliados aumentaram a densidade do solo. A porosidade do solo foi influenciada pelas coberturas vegetais. As coberturas utilizadas reduziram a porosidade total do solo, porém todas as coberturas foram superiores ao convencional.



A rotação de culturas proporcionou pequena melhoria na resistência do solo a penetração em ambos os sistemas plantio direto.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p. 857-865, 2000.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Science**, n.26, p.27-34, 2004.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, p.341-358, 1990.

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

BEUTLER, A.N. **Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. 1999, 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras/MG, 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.22, n.2, p.191-199, 2002.

BRASIL. **Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro: MAPA/SUDENE. 1973. v.1, p.301 (Boletim Técnico, 28).

CUBILLA, M.A.; REINERT, D.J.; AITA, C; JOSÉ MIGUEL REICHERT, J.M.; RANNO, S. K. Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação. **XIV Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água**. Cuiabá-Mt, 21 a 26 de Julho de 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Sistema de Produção de Informação – SPI. 1999. 412 p.

FORSYTHE, W. M. **Física del suelos: Manual de laboratório**. San José, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975, 212 p.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial de atributos de uma Latossolo Vermelho-escuro, textura argilosa, da região do cerrado**, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Tese Doutorado, 85 f. Campinas: UNICAMP, 2000.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo. 1979, 264 p.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de pós-graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MACIEL JUNIOR, V. A. **Sistemas de cultivo de milho (*Zea mays L.*) e seus efeitos no solo e na planta**. 1999. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinária de Jaboticabal - UNESP, Jaboticabal-SP, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496 p.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. **Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá -MG**. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006.

NOVAIS, R. F. et al. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, p. 1017, 2007.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, n.1-3, p.319 – 337, 1984.

PELÁ, A. **Uso de plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal-SP**. 2002, 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinária de Jaboticabal - UNESP, Jaboticabal-SP, 2002.

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

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

SECCO, D.; ROS, C.O. DA; FIORIN, J. E.; PAUTZ, C. V.; PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n.1, p. 57–60, 1997.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: **World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.**

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 253–260, 2001.

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

STARTSEV, A. D.; MCNABB, D. H. Skidder traffic effects on water retention, pore-size distribution, and van Genuchten parameters of boreal forest soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 65, n.1, p. 224-231, 2001.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar–Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciências. Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; Guimarães, M.E.; Fonseca, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 725-730, 2001.

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

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A. C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.