

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO NA SUA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO¹

**Francisco Javier Vallejos Mernes²
Caetano Marciano de Souza³
Antônio Américo Cardoso³
Valterley Soares Rocha³
João Carlos Cardoso Galvão³
Fábio Ribeiro Pires⁴**

RESUMO

As operações de preparo afetam a resistência do solo à penetração das raízes, podendo comprometer a produtividade das lavouras. O objetivo deste trabalho foi estudar a magnitude de atuação de sistemas de preparo de solos (plantio direto, arado de aiveca, arado de disco, arado de aiveca + grade pesada, arado de disco + grade pesada e grade pesada) na resistência à penetração oferecida pelo solo, em um experimento com 12 anos de implantação. Verificou-se que os sistemas analisados resultaram em diferentes resistências à penetração, expressas como índice de cone. Plantio direto e grade pesada proporcionaram as maiores resistências à penetração até 0,3 m de profundidade, apresentando, abaixo de 0,1 m, índices de cone superiores a 1 MPa.

Palavras-chave: aradura, gradagem, plantio direto.

¹ Pesquisa desenvolvida com apoio da FAPEMIG. Trabalho apresentado no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Aceito para publicação em 12.12.2001.

² Ex-aluno do Curso de Mestrado em Fitotecnia da UFV.

³ Departamento de Fitotecnia da UFV. 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: cmsouza@ufv.br

⁴ Doutorando do Departamento de Fitotecnia da UFV.

ABSTRACT

INFLUENCE OF DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS ON RESISTANCE TO PENETRATION

Tillage systems influence soil resistance to penetration by roots and may jeopardize plant productivity. The objective of this experiment was to study the influence of different tillage systems (no-tillage, moldboard plow followed by disking, disk plow followed by disking, off set disk harrow followed by moldboard plow and disking, off set disk harrow followed by disk plow and disking, and off set disk harrow followed by disking) on soil resistance to penetration in a long term experiment of 12 years. It was observed that the systems of tillage resulted in different degrees of resistance to penetration when expressed by the cone index. No-tillage and off set disk harrow showed the highest values of resistance to penetration up to 0.3 m depth, presenting, below 0.1 m depth cone index values larger 1 MPa.

Key words: plowing, harrowing, no-tillage.

INTRODUÇÃO

O preparo do solo é importante em qualquer sistema de exploração agrícola. Apresenta elevado custo operacional e afeta o desenvolvimento e a produção das culturas. Objetiva alterar o solo para otimizar as condições de germinação das sementes, sua emergência e estabelecimento das plântulas (14). Por atuar diretamente sobre a estrutura do solo, provoca modificações nas suas propriedades físicas, diferenciando-as, cada vez mais, da situação original (18), resultando no aumento da compactação do solo, promovida principalmente pelo tráfego em sistemas de preparo mínimo (4) e pelo preparo inicial em sistemas convencionais (11).

Algumas formas de preparo podem minimizar significativamente a resistência à penetração na camada preparada (5, 6, 9, 13), mas a compactação residual persistente abaixo desta pode ter efeitos prejudiciais sobre a produção agrícola (19, 20), podendo o tráfego de máquinas resultar em camadas compactadas de alta resistência à penetração abaixo da zona preparada (10). Por seu turno, o plantio direto pode resultar em solo superficialmente mais denso, devido à ausência da mobilização do material, associada à incapacidade das forças naturais induzidas por variações climáticas (ciclos de umedecimento e secagem) de reduzir a compactação do solo, devido ao tráfego (21). Em ambas as situações, a impedição mecânica deve ser considerada, pois trata-se de fator importante para o crescimento radicular, estando relacionada com a alongação e a proliferação de raízes no solo.

Em estudos das relações solo-máquina-planta, uma das alternativas para se caracterizar fisicamente o solo, antes e depois de determinado preparo ou exploração, é medir sua resistência à penetração, obtida por

meio de ensaios usando penetrômetros (15, 17). Esta metodologia, embora prática, econômica e versátil, é muito discutida e criticada (15).

A penetrometria é um método utilizado para quantificar a resistência do solo. Superestima a resistência para o crescimento radicular (21), mas infelizmente, não há rotina metodológica eficiente para fazer estimativas mais precisas e confiáveis da impedição mecânica do solo. Apesar de suas limitações e das dificuldades na interpretação dos resultados obtidos, o penetrômetro é um instrumento de grande utilidade na avaliação de sistemas de preparo do solo (15). Deve-se ressaltar que a resistência do solo à penetração de um penetrômetro é um indicador secundário de compactação, não constituindo, pois, medição física direta de qualquer condição de solo. Desse modo, esta informação deve ser criteriosamente interpretada, porque fatores como potencial matricial, densidade, compressibilidade, resistência, estrutura e textura do solo (2) podem afetar significativamente os dados (12). Os valores expressos como índice de cone (IC) referem-se à relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e a sua área basal. O IC apresenta boa correlação com medidas do crescimento radicular, variando a alongação das raízes inversamente com a resistência à penetração. Os valores limitantes ao crescimento radicular variam de acordo com o tipo de penetrômetro utilizado, com o tipo de solo e com a espécie de planta.

Outro fator importante para a resistência do solo à penetração é a umidade. Aumentando-se esta, diminui-se o efeito da compactação, tanto em relação à quantidade de energia necessária para mobilização do solo como para a penetração do sistema radicular (8).

Os objetivos deste trabalho foram identificar a influência de diferentes métodos de preparo de solo (plantio direto, arado de aiveca, arado de disco, arado de aiveca + grade pesada, arado de disco + grade pesada e grade pesada) na resistência do solo à penetração.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Coimbra, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, situada a 20°45' de latitude sul e 42°51' de longitude oeste de Greenwich, a altitude média de 600 a 700 metros. O clima regional é caracterizado por apresentar temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.300 a 1.400 mm, concentrada, principalmente, no período de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 80 a 85%.

Instalada em Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa, com declividade média de 8%, a área experimental de 4.469 m² foi constituída por parcelas de 112 m² (14 x 8 m) cada, separadas entre si por ruas de 5 m

e blocos por ruas de 3 m, sendo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições.

Os tratamentos, aplicados na área desde 1985 (14), constituíram os seguintes métodos de preparo: 1) plantio direto (PD); 2) arado de aiveca em uma só aração, seguido de uma gradagem destorroadora (AA); 3) arado de disco em uma só aração, seguido de uma gradagem destorroadora (AD); 4) grade pesada + arado de aiveca: efetuou-se uma gradagem, utilizando grade pesada seguida de uma só aração com arado de aiveca e de uma gradagem destorroadora (AA + GP); 5) grade pesada + arado de disco: efetuou-se uma gradagem, utilizando grade pesada seguida de uma só aração com arado de disco e de uma gradagem destorroadora (AD + GP); e 6) grade pesada: efetuou-se uma gradagem, utilizando grade pesada seguida de uma gradagem destorroadora (GP).

Foram analisadas as seguintes variáveis:

1. Equivalente de umidade: realizada pelo método da centrifugação a mil vezes a aceleração da gravidade, durante 30 minutos, em amostra de 25 g de TFSA, previamente saturada com água, durante 12 horas.

2. Resistência à penetração no solo: determinada com um penetrômetro de cone, com ângulo de penetração de 30° e 12,83 mm de diâmetro da haste, seguindo as normas da ASAE S313.2 (1). As determinações ocorreram nas linhas de plantio da cultura, no dia 5 de outubro, tendo sido realizada no dia 3 uma irrigação com lâmina de água suficiente para atingir o equivalente de umidade, numa tentativa de diminuir as variações de umidade entre as parcelas. Os resultados foram expressos por meio do índice de cone (IC) em Pascal nas profundidades de 0 – 0,1, 0 – 0,2 e 0 – 0,3 m.

3. Umidade atual: determinada em amostras de solo coletadas às já citadas profundidades, seguindo-se o método padrão de estufa (8). Esta variável foi quantificada no campo para certificar que o solo estava com umidade próxima ou superior à do equivalente de umidade, em todas as parcelas, além de ser utilizada na interpretação dos valores do IC.

Os dados foram submetidos à análise de variâncias e as médias, quando necessário, foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em condições de campo, é muito difícil controlar a umidade do solo. Para tanto, irrigou-se o experimento de maneira a garantir que a umidade de todas as parcelas fosse próxima à do equivalente de umidade. O Quadro 1 apresenta o equivalente de umidade do solo das parcelas experimentais.

Observa-se, em todos os métodos de preparo, que os valores do equivalente de umidade elevaram-se à medida que a profundidade de

amostragem aumentou, provavelmente devido à elevação da proporção de argila também ocorrido com o aumento da profundidade (Quadro 2).

Na Figura 1 estão representados graficamente os valores médios do índice de cone em relação aos sistemas de preparo do solo na profundidade de 0 – 0,1 m. Os métodos de preparo ficaram distribuídos em dois grupos estatisticamente diferentes. No primeiro grupo, os métodos de preparo do

QUADRO 1 - Médias de equivalente de umidade (dag kg^{-1}) nas diferentes profundidades e métodos de preparo do solo

Prof. (m)	PD	AA	AD	AA + GP	AD + GP	GP
0,0 – 0,1	22,8	24,7	25,2	25,6	24,5	23,2
0,1 – 0,2	24,5	24,8	25,5	26,3	25,0	24,8
0,2 – 0,3	26,9	27,7	27,5	28,9	25,9	29,0

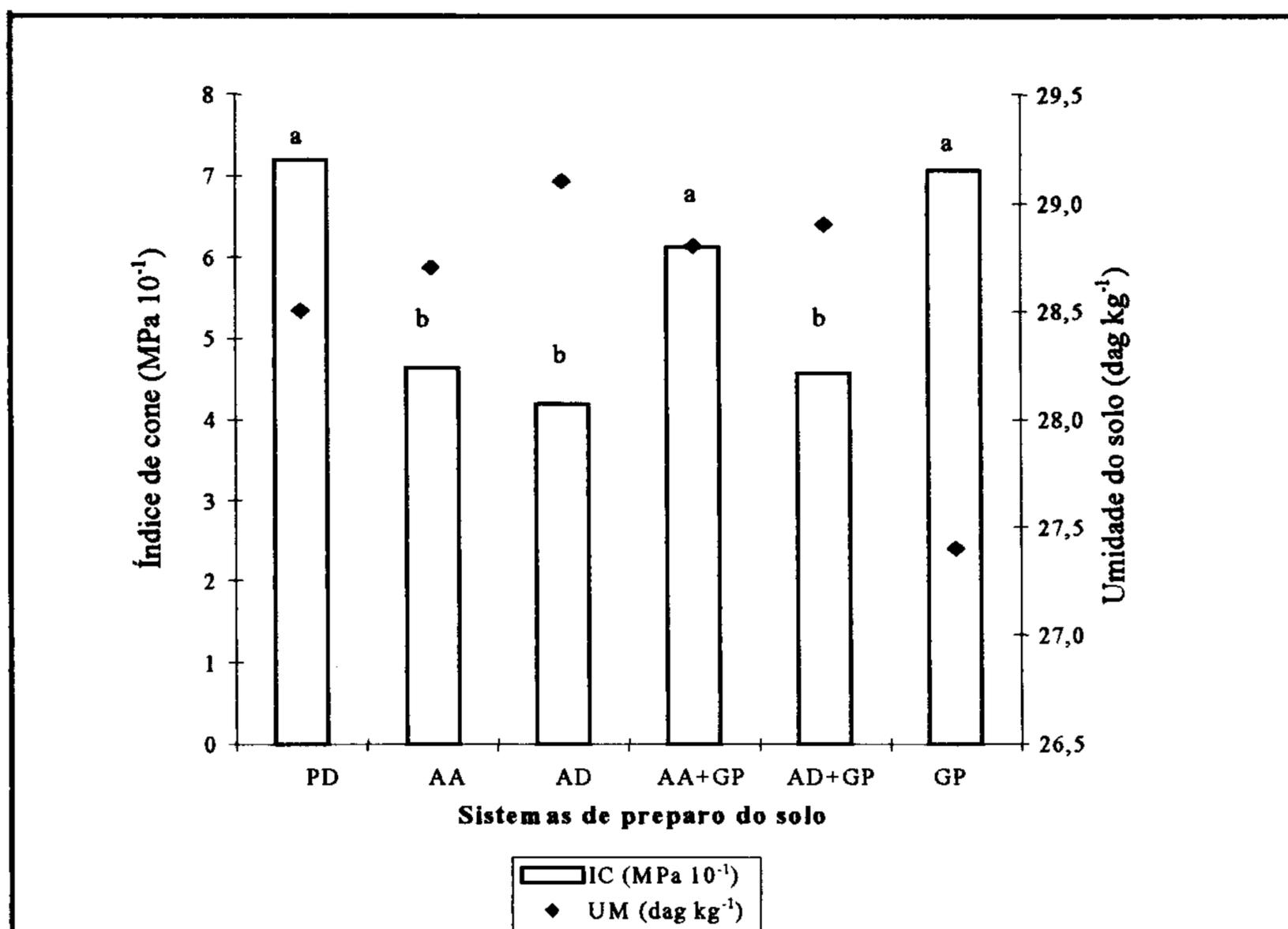


FIGURA 1 - Índice de cone (IC) e umidade do solo (UM) dos sistemas do preparo de solo plantio direto (PD), arado de aiveca (AA), arado de disco (AD), arado de aiveca + grade pesada (AA + GP), arado de disco + grade pesada (AD + GP) e grade pesada (GP), na profundidade de 0 - 0,1 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo de Coimbra, MG. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

QUADRO 2 - Granulometria dos materiais de solos (g kg^{-1}) das diferentes profundidades, nos sistemas de preparo plantio direto (PD), arado de aiveca (AA), arado de disco (AD), grade pesada + arado de aiveca (AA + GP), grade pesada + arado de disco (AD + GP) e grade pesada (GP)

Prof.	PD	AA	AD	GP+AA	GP+AD	GP
(m)	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A	AG AF S A AG AF S A AG AF S A AG AF S A
0-0,1	37,5 12 11,5 39 39 12,75 12,25 36 37,25 12,5 12,75 37,5 36 12 13,5 38,5 37 12,5 12,25 38,25 38,2 12,8 11 38					
0,1-0,2	36 11,25 10,75 42 38 11 12,5 38 36,75 12,25 13 38 35 11,75 14,25 39 35,75 12 12,75 39,5 35 11 14 40					
0,2-0,3	31 10,5 12 46,5 33 11,75 13,75 41,5 33,5 11,25 13,5 41,75 29,5 11 15,5 44 32,75 11,5 13,75 42 30 11 14 45					

AG = areia grossa; AF = areia fina; S = silte; e A = argila

solo com PD, AA + GP e GP possibilitaram maiores valores médios do IC, que variaram de 0,612 a 0,719 MPa. Dos tratamentos, no PD não ocorreu revolvimento de solo e, assim, espera-se que tenha maior resistência à penetração. Já GP pode ter apresentado alta resistência à penetração, similar à do PD, e maior que a dos tratamentos AA, AD e AD + GP, em virtude de apresentar a menor umidade dentre os tratamentos. No segundo grupo, formado pelos sistemas de preparo do solo com AA, AD e AD + GP, os valores médios do índice de cone foram menores e variaram de 0,419 a 0,462 MPa. Nestes tratamentos houve grande revolvimento do solo, além de estes terem apresentado umidade superior a do PD e GP. Essas condições podem ter resultado em menores valores de resistência à penetração nesses métodos. AA + GP mesmo tendo revolvimento de solo semelhante a AD + GP e umidade elevada, apresentou resistência à penetração igual ao do PD e GP. Este resultado pode estar relacionado à inversão mais eficiente da leiva, promovida pelo arado de aiveca, comparativamente ao arado de disco, que resultou na colocação, na superfície, de camadas mais profundas de solo menos influenciadas pela matéria orgânica.

Na Figura 2, estão representados graficamente os valores médios do índice de cone em relação aos sistemas de preparo do solo na profundidade

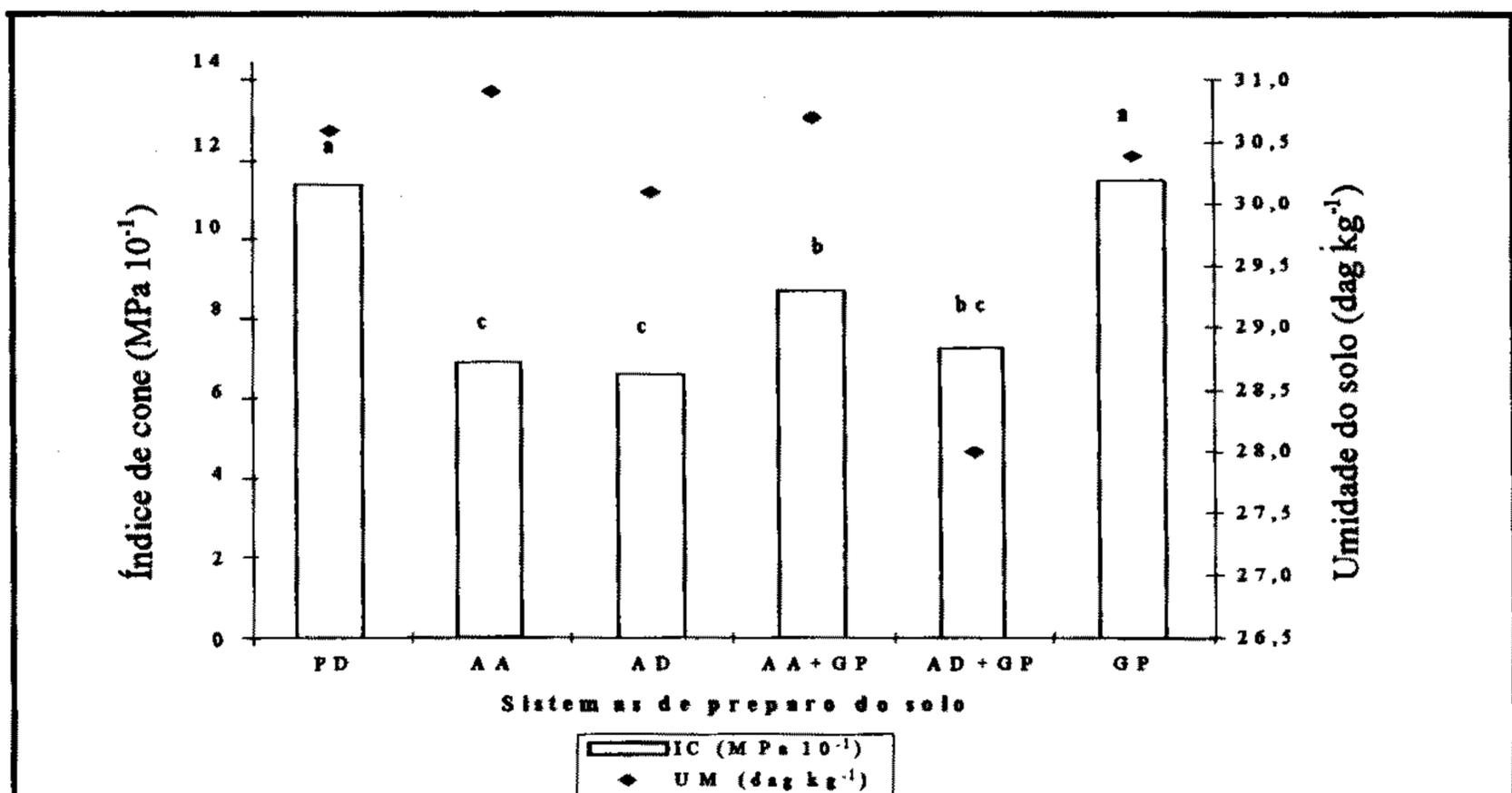


FIGURA 2 - Índice de cone (IC) e umidade do solo (UM) dos sistemas de preparo do solo plantio direto (PD), arado de aiveca (AA), arado de disco (AD), arado de aiveca + grade pesada (AA + GP), arado de disco + grade pesada (AD + GP) e grade pesada (GP), na profundidade de 0 - 0,2 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo de Coimbra, MG. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

de 0 – 0,2 m. As médias do índice de cone aumentaram em todos os sistemas de preparo do solo, em relação à profundidade de 0 – 0,1 m. Observa-se também maior variabilidade das médias do índice de cone. Os métodos de preparo PD e GP apresentaram, novamente, as maiores médias do índice de cone, que variaram de 1,135 a 1,153 MPa. Nos tratamentos AA + GP e AD + GP, as médias do índice de cone variaram de 0,729 a 0,869 MPa. Já os métodos de preparo do solo com AA e AD resultaram em médias do índice de cone de 0,640 e 0,662 MPa, respectivamente. O uso da grade pesada influenciou significativamente a resistência à penetração nesta camada, pois, nos tratamentos em que foi utilizada, o índice de cone foi significativamente superior, comparativamente aos tratamentos em que não foi utilizada, AA + GP, AD + GP e AA, AD, respectivamente. Isso ocorreu pelo fato de a profundidade de trabalho deste implemento ter se situado na profundidade de 0,15 m. Observa-se, também, principalmente se forem visualizadas as Figuras 1 e 2 simultaneamente, que o uso do arado de aiveca resultou em maior resistência à penetração em comparação ao uso do arado de disco. Na profundidade de 0 – 0,2 m AD + GP não diferiu significativamente dos tratamentos AA e AD, porém foram diferentes estatisticamente de AA + GP. Esses resultados podem estar relacionados à inversão mais eficiente da leiva, promovida pelo arado de aiveca, comparativamente ao de disco e por este resultar em decomposição mais rápida da matéria orgânica. Novamente observa-se que PD e GP apresentaram as maiores resistências. O não-revolvimento do solo explica o resultado do PD, enquanto GP apresentou estes resultados em virtude de a profundidade trabalhada pelo implemento ter sido até 0,15 m. Abaixo de 0,15 m não houve revolvimento, como também pode estar sendo expressa alguma camada compactada. A variação de umidade entre os tratamentos, menos no caso de AD + GP, foi pequena e não pode ter sido responsável pelas diferenças observadas. Nota-se, entretanto, que, embora AD + GP tenha tido a menor umidade, mesmo assim apresentou baixa resistência à penetração em virtude do revolvimento mais profundo do solo e, talvez, em razão de o arado de disco incorporar menos eficientemente os restos vegetais.

Na Figura 3, visualiza-se a representação gráfica das médias do índice de cone nos diferentes métodos de preparo do solo na profundidade de 0 – 0,3 m. Novamente essas médias aumentaram em todos os métodos de preparo do solo em relação às profundidades anteriores. Os métodos de preparo do solo PD e GP apresentaram as maiores médias do índice de cone, que variaram de 1,236 a 1,257 MPa. Estes resultados já foram anteriormente explicados pelo não-revolvimento (PD) e a profundidade da camada trabalhada (GP), já que as variações de umidade foram pequenas e não justificam os resultados. Observando os métodos de preparo do solo AA, AD, AA + GP e AD + GP, as médias do índice de cone variaram de 0,843 a 0,994 MPa. Observa-se novamente que o maior revolvimento do solo propiciou menor resistência à penetração e que o arado de disco talvez resulte em menor índice de cone, pois, mesmo o tratamento AD + GP apresentando a menor umidade entre todos, seu IC não diferiu estatisticamente dos tratamentos AA, AD e AA + GP.

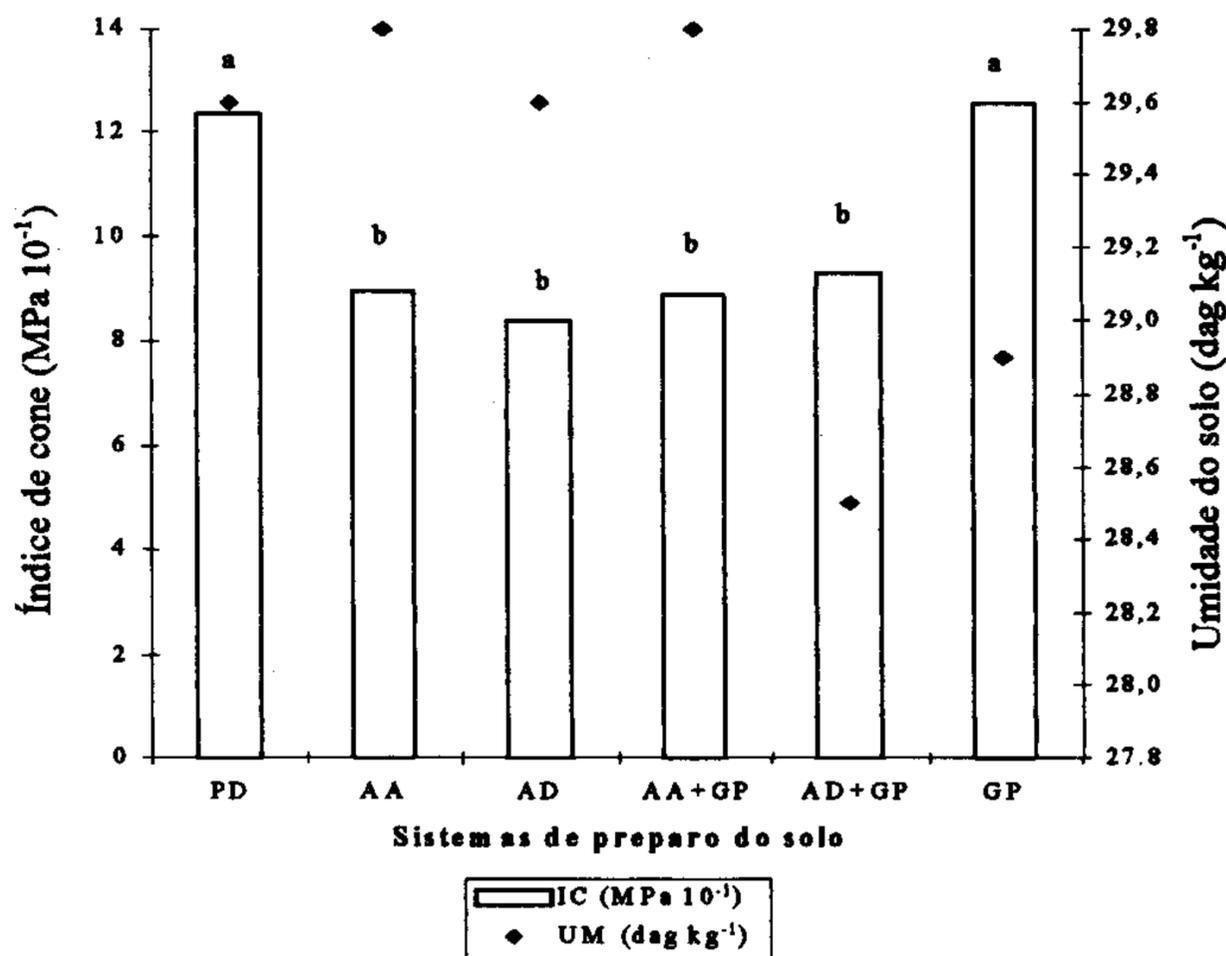


FIGURA 3 - Índice de cone (IC) e umidade do solo (UM) dos sistemas de preparo do solo plantio direto (PD), arado de aiveca (AA), arado de disco (AD), arado de aiveca + grade pesada (AA + GP), arado de disco + grade pesada (AD + GP) e grade pesada (GP), na profundidade de 0 - 0,3 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo de Coimbra, MG. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

A maior resistência à penetração nas camadas superficiais apresentada pelo método de preparo do solo com plantio direto em relação aos sistemas convencionais também foi observada por Balbuena et al. (3), Daniel et al. (7) e Tormena (15). O aumento gradual de resistência do solo à penetração em profundidade no método de preparo plantio direto concorda com os resultados obtidos por Daniel et al. (7). O preparo do solo com arado de aiveca, arado de disco e arado de disco + grade pesada minimizaram significativamente a resistência à penetração na camada preparada, o que coincide com os resultados de Hill (9) e Radcliffe et al. (13). Observou-se, entretanto, que o arado de disco resultou em menor resistência à penetração que o arado de aiveca. Considerando que os índices de cone superiores a 2 MPa caracterizam a presença de uma camada compactada (7), verificou-se que os valores médios do índice de cone em todos os métodos de preparo estudados, mesmo após decorridos 12 anos de aplicação sucessiva, não resultaram na presença de camada compactada até a profundidade estudada. Entretanto, vale ressaltar que a resistência do

solo à penetração de um penetrômetro é um indicador secundário de compactação, não constituindo, pois, medição física direta de qualquer condição de solo. Assim, esta informação deve ser criteriosamente interpretada, pois nada se conhece, por exemplo, sobre a continuidade de poros, nos quais as raízes se desenvolvem. Dessa forma, por exemplo, no PD, devido ao não-revolvimento, os poros são contínuos (16) e, mesmo em valores de IC considerados restritivos, as raízes podem não ser prejudicadas, enquanto em GP, por desestruturar o solo quebrando a continuidade de poros (16), estes mesmos valores podem realmente prejudicar o sistema radicular.

A grade pesada possibilitou a maior resistência à penetração na profundidade de 0 – 0,3 m (1,2 MPa). Este resultado está relacionado à distribuição horizontalizada dos poros produzida por este método de preparo (16).

CONCLUSÕES

1) Dentre os métodos de preparo de solo analisados, o plantio direto e a grade pesada isolada resulta em maior resistência à penetração, expressa pelo índice de cone, até 0,3 m de profundidade.

2) O uso de arado de disco ou de aiveca resulta em menor resistência à penetração, expressa pelo índice de cone, na camada de solo preparada de até 0,3 m de profundidade.

3) Plantio direto e grade pesada propiciam, abaixo de 0,1 m, índices de cone superiores a 1 MPa.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. St. Joseph, Michigan, 1990. n. p. (mimeogr.).
2. ARAGON, A. & GARCIA, M. A resistência de solos à penetração em função da umidade. Jaboticabal, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. n. p. (mimeogr.).
3. BALBUENA, R.; ARAGON, A.; MAC DONAGH, P.; CLAVERIE, J. & TERMINIELLO, A. Efeito de três sistemas de preparo do solo na resistência à penetração e a densidade de um solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24º, Viçosa, 1995. Anais, UFV/MG, 1995. s.p.
4. BAUDER, J.; RANDALL, G. & SWAN, J. Effects of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 45: 802-6, 1981.
5. BUSSCHER, W.; KARLEN, D.; SOJKA, R. & BURNHAM, K. Soil and plant response to the subsoiling implements. Soil Sci. Soc. Am. J., 52: 804-9, 1988.
6. CASSEL, D.; BOWEN, H. & NELSON, L. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk sandy loam. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 116-20, 1978.
7. DANIEL, L.; LUCARELLI, J. & CARVALHO, J. de. Efeito do método de preparo do solo na formação de camadas compactadas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24º, Viçosa, 1995. Anais, UFV/MG, 1995. s.p.

8. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
9. HILL, R. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 161-6, 1990.
10. MEEK, B. D.; RECHEK, E. A.; CARTER, L. M. & DETAR, W.R. Soil compaction and its effects on alfalfa in zone production systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 232-6, 1988.
11. NESMITH, D. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on a Ultissol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 183-6, 1987.
12. PERUMPRAL, J. Cone penetrometer. A review. *Transactions of ASAE*, 30: 939-44, 1987
13. RADCLIFFE, D.; MANOR, G.; CLARK, R. L.; WEST, L. T.; LANGDALE, G. W. & BRUCE, R. R. Effect of traffic did in row chiseling on mechanical impedance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1.197 - 201, 1989.
14. SIQUEIRA, N. S. Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 78 p. (Tese de doutorado).
15. TORMENA, C. Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciados por preparos pré-implantação, calagem e tráfego. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1991. 155 p. (Tese de mestrado).
16. SHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS M., F. J.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C. & RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 25: 765-9, 2001.
17. VIEIRA, L. B. & SIERRA, J. Uso do penetrômetro e programa de computador para traçado de perfil penetrométrico do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22º, Ilhéus, 1993. Anais, Jaboticabal/SP, 1993, p.1.829-36.
18. VIEIRA, M. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: Francelli, A. L.; Torrado, P. V. & Machado, J. (eds.). *Atualização em plantio direto*. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 163-79.
19. VOORHEES, W.; FARREL, D. & LARSON, W. Soil strength and aeration effects of root elongation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 39: 948-53, 1975.
20. VOORHEES, W. Soil tilth deterioration under row cropping in the Northern Corn Belt: Influence of tillage and wheel traffic. *J. Soil Water Cons.*, 34: 184-6, 1979.
21. VOORHEES, W. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviation wheel induced soil compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 129-33, 1983.