

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM PLANTIOS JOVENS DE *Pinus taeda*, COM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO

Renato Antonio Dedecek¹
Osmar Menegol²
Antonio Francisco J. Bellote³

RESUMO

Em área de reforma, a exploração mecanizada é a principal responsável pela degradação do solo e, conseqüente perda de produtividade das florestas plantadas. No estabelecimento de um plantio de *Pinus taeda*, em maio de 1995, em área da Cia Inpacel, no município de Arapoti-PR, em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, foram testados 11 sistemas de preparo do solo. Em novembro de 1998, concomitantemente com a medição de altura das árvores, foi avaliada a resistência do solo ao penetrógrafo, em solo com umidade ao redor de 500 KPa. Houve diferença de crescimento de pinus, conforme os sistemas de preparo de solo usados, sendo maior o desenvolvimento para aquele em que a linha de plantio foi preparada usando-se ripper tracionado por trator D6 (6,3 m) e, menor desenvolvimento, naquele em que foram abertas covas manualmente (4,5 m). A resistência do solo correlacionou-se negativamente com o desenvolvimento do pinus, com um coeficiente de correlação linear (r^2) de 0,52, quando avaliada na linha de plantio e na profundidade de 25 cm. A resistência do solo a 50 cm da linha de plantio também correlacionou-se negativamente com a altura das árvores, com um coeficiente de correlação linear de 0,53, na profundidade de 5 cm. O uso da lâmina KG e o realinhamento aumentaram a resistência do solo, diminuindo o crescimento das árvores, bem como dos tratamentos estabelecidos nas áreas de depósito de madeira, que apresentaram os maiores valores de resistência do solo. Para uma diferença de 1,8 m em altura de pinus, a resistência do solo na linha de plantio, na profundidade de 25 cm, dobrou, enquanto que a resistência do solo medida a 50 cm da linha de plantio, na profundidade de 5 cm, aumentou quatro vezes.

PALAVRAS CHAVE: resistência do solo, altura de pinus, penetrometria, exploração mecanizada, subsolagem, ripagem.

¹⁻³ Eng. Agrônomo, Doutores, CREA nº 6922-D e nº 47.548-D, respectivamente, pesquisadores da *Embrapa Florestas*.

² Eng. Florestal, Mestre, responsável pelo Setor de Manejo da Cia. Inpacel, Arapoti-PR.

SOIL COMPACTION EVALUATION IN SECOND ROTATION AREA OF *Pinus taeda* ON DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS

ABSTRACT

Mechanized harvesting is responsible for most of soil degradation and loss of productivity of planted forests. Eleven soil tillage systems were tested in establishing *Pinus taeda*, in May 1995, in a clayey dark red latosol, as a way to overcome soil compaction caused by logging. In November 1998, it was measured pinus height and soil penetrometer resistance, when soil moisture was around 500 KPa. Pinus growth was affected by soil tillage systems, ripping produced the highest average pinus (6,3 m) and manual digging was the worse (4,5 m). Soil penetrometer resistance correlated negatively with pinus height. It was obtained a linear correlation coefficient (r^2) of 0,52 between pinus height and soil resistance measured at planting line at soil depth of 25 cm. And a linear correlation coefficient of 0,53, when soil resistance was measured 50 cm apart from planting line at soil depth of 5 cm. For a difference in pinus height of 1,8 m, soil penetration resistance increased twice when measured in planting line and four times when measured 50 cm apart from planting line. Using KG blade and rearranging planting line increased soil resistance and decrease pinus height.

KEY WORDS: soil penetrometer resistance, pinus height, logging, ripping, subsoiling.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de práticas de manejo florestal que assegurem a sustentabilidade dos sítios é uma prioridade. O interesse em manter uma boa produtividade das terras florestais tem crescido constantemente, desde o uso de maquinaria pesada e da retirada de toda a árvore na colheita. Os problemas com a qualidade do solo e a manutenção da produtividade ocorrem quando atividades de manejo são imprópriamente planejadas e executadas. Entre todos os fatores naturais que afetam a produtividade das plantas, o solo é o mais facilmente modificável pelo manejo (Powers & Morrison, 1996).

As propriedades do solo tidas como responsáveis primárias pelo controle da produtividade florestal são a porosidade e o teor de matéria orgânica (Ponder & Mikkelson, 1995). Estas também são as propriedades do solo que sofrem os maiores impactos pelas atividades de manejo florestal, seja pelo tráfego de máquinas pesadas na colheita e pela retirada completa das árvores na exploração.

Lacey (1993), revisando o grau de degradação do solo pelas operações de exploração florestal, apontou o arraste das árvores pelo skidder, como o mais prejudicial, afetando 25 % da superfície do solo. Shetron et al. (1988) reportam que a densidade média do solo na camada de 0 a 5 cm foi de 0,80 Mg/m³ na linha de tráfego, 0,77 Mg/m³ nas áreas de corte e de 0,42 Mg/m³ nas áreas sem tráfego, após a passagem da cortadeira e do autocarregável. Segundo Incerti et al. (1987), a exploração reduziu a proporção de macroporos (> 0,05 mm) de 28,6 % em área sem tráfego para 19,8 % na área de corte, 8,2% na linha de derrubada das árvores e para 9,7% na linha de passada das máquinas. As duas áreas com menos de 10% de porosidade de aeração, cobrem aproximadamente 10% da área de exploração.

Em solos de textura média, densidades acima de 1,35 Mg/m³ diminuem o crescimento do caule e das raízes e provocam uma severa restrição ao crescimento das raízes quando a sua resistência é superior a 3,0 MPa (Sands et al., 1979). Poucas raízes de *P. taeda* são encontradas no solo abaixo de 60 cm, dois anos após o plantio. Halverson & Zisa (1982) demonstraram que em solo com densidades de 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg/m³, plantado com sementes de *P. nigra*, a profundidade de enraizamento das mudas era de 15, 9, 5 e 2 cm respectivamente, 120 dias após o plantio. Segundo Macedo e Teixeira (1988), uma densidade do solo igual ou superior a 1,18 Mg/m³, em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, independente da profundidade em que se encontra e do modo de preparo do solo, provoca severas restrições ao enraizamento de *E. saligna* com 21 meses.

Dougherty & Gresham (1988) afirmam que o desenvolvimento radicular é o fator mais importante na sobrevivência e crescimento de pinus, no primeiro ano de plantio. Até que o sistema radicular tenha chance de se desenvolver, as mudas não têm condições de suprir as suas necessidades, principalmente em solos de baixa fertilidade ou de pouca disponibilidade de água para as plantas. Houve uma redução no comprimento de raízes primárias e laterais de mudas de eucalipto de 71 e 31 % respectivamente, com um aumento na resistência do solo, medida pelo penetrógrafo de 0,4 a 4,2 MPa (Misra & Gibbons, 1996). Houve um aumento de raízes laterais e raízes capilares com o aumento de resistência do solo.

Este estudo objetivou dimensionar o efeito no crescimento de *Pinus taeda*, em área de reforma, de sistemas de preparo do solo com intensidades e profundidades de movimentação diferentes, visando recuperar solos compactados pela exploração mecanizada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi efetivado no município de Arapoti-PR, em área da Cia Inpacel, em Maio de 1995. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, e o plantio de *Pinus taeda* ocorreu em área de reforma, após colheita mecanizada.

Visando descompactar o solo foram estabelecidos os seguintes sistemas de preparo do solo para plantio:

1. Subsolagem na linha e entrelinha com trator de pneus;
2. Subsolagem na linha com trator de pneus;
3. Gradagem com grade pesada com trator D6 e uso da lâmina KG para rebaixamento de tocos;
4. Preparo do solo na linha com uso de ripper e trator D6, com realinhamento do plantio;
5. Preparo do solo na linha com uso de ripper e trator D6, sem realinhamento;
6. Idem ao sistema 4, com uso de trator de pneus;
7. Idem ao sistema 5, com uso de trator de pneus;
8. Coveamento na linha de plantio;
9. Idem ao sistema 4, com uso de lâmina KG no rebaixamento de tocos;

10. Idem ao sistema 6, com uso de lâmina KG no rebaixamento de tocos;
11. Plantio manual, sem preparo mecânico do solo na linha de plantio.

O realinhamento mencionado nos tratamentos foi realizado devido a necessidade de mudança do espaçamento.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento e cada parcela era constituída por cinco linhas de 15 árvores, espaçadas 3m entrelinhas e 2 m entre árvores. Os dados de altura e de resistência do solo foram obtidos em novembro de 1998. A resistência do solo foi medida com penetrógrafo da Soilcontrol, modelo SC-60, com haste de 1 cm² de base, na linha de plantio e a 50 cm da linha. Todos os dados foram obtidos no mesmo dia para todos os tratamentos, sendo que o teor médio de umidade volumétrica do solo ficou ao redor de 26% na superfície até um máximo de 27% na profundidade de 50 a 60 cm. Estes valores comparados às curvas de retenção de umidade em Latossolo Vermelho-Escuro, com aproximadamente o mesmo teor de argila, equivaleriam a uma tensão ao redor de 500 KPa.

Foram coletadas amostras de solo para análise química, granulométrica e determinação da umidade atual, na mesma data, até 60 cm de profundidade, seccionadas de 10 em 10 cm. Os dados de altura das árvores foram obtidos na mesma época.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa em altura de pinus (Tabela 1) nos plantios com sistemas de preparo do solo em áreas normais, onde houve apenas o tráfego de colheita e arraste dos troncos. Os tratamentos 3, 2 e 1 tiveram as linhas de plantio preparadas, mas sofreram maior degradação, por serem as áreas de empilhamento de madeira e trânsito dos implementos de colheita e de transporte. Apenas o tratamento 11 teve crescimento reduzido em altura por não ter tido o solo preparado mecanicamente para plantio; foi aberta apenas uma cova manualmente. Esperava-se que o tratamento 8, em que foi procedido apenas o coveamento mecânico para plantio, apresentasse o mesmo desenvolvimento em altura que o tratamento 11.

O alinhamento dos tratamentos em relação à resistência do solo, medida pelo penetrógrafo na linha de plantio (Tabela 1), seria o inverso do esperado para o desenvolvimento em altura, principalmente em relação ao

sistema de preparo 8. Uma explicação possível para o fato de este tratamento não ter sido afetado pela falta de preparo do solo pode ser que os valores de resistência à penetração apresentados foram medidos à 50 cm da linha de plantio.

TABELA 1 Dados de altura de *Pinus taeda*, resistência do solo à penetração para medições na linha de plantio (profundidade de 25 cm) e a 50 cm da linha de plantio (prof. de 5 cm) para 11 sistemas de preparo do solo na reforma de área.

ALTURA		RESISTÊNCIA DO SOLO			
		NA LINHA DE PLANTIO		A 50 CM DA LINHA	
TRATAM.	M	TRATAM.	25 CM	TRATAM.	5 CM
			KG/CM ²		KG/CM ²
5	6,3 a	5	21 a	7	8 a
4	6,0 ab	4	25 ab	5	8 a
7	5,9 ab	7	27 abc	8	8 a
6	5,8 ab	9	28 abc	9	15 ab
8	5,8 ab	6	35 abc	4	16 ab
10	5,6 ab	10	36 abc	3	24 ab
9	5,6 ab	3	36 abc	6	24 ab
3	5,3 bc	1	39 abc	10	28 ab
1	4,8 cd	8	40 abc	11	31 ab
2	4,6 cd	2	44 bc	2	33 b
11	4,5 d	11	46 c	1	37 b

Obs: Dados seguidos de letras diferentes são significativamente diferentes pelo Teste de Tukey 5%.

Considerando a linha de plantio, que também foi a linha de preparo do solo, as diferenças mais significativas entre os tratamentos testados se deram a 25 cm de profundidade do solo. Os sistemas (1, 2 e 3) que produziram maior degradação pelo tráfego de máquinas foram os que apresentaram nesta profundidade os maiores valores de resistência do solo (Tabela 1). Segundo Taylor et al. (1966), valores de resistência do solo acima de 2000 kPa (aproximadamente 20 kg/cm²) estão na faixa onde a penetração de raízes é severamente reduzida. Os valores de resistência do solo, obtidos a 50 cm da linha de plantio, que mais se distinguiram entre os tratamentos testados, foram na profundidade de 5 cm (Tabela 1) e são

menores do que os apresentados na linha de preparo do solo, a 25 cm de profundidade. Também nesta situação, as áreas degradadas apresentaram os maiores valores de resistência do solo.

Como pode ser observado na Figura 1, o preparo do solo, conforme o tratamento 5, que foi o que apresentou a maior média de altura de pinus, apresenta menores valores de resistência na linha de preparo. A partir de 50 cm da linha ou exatamente na metade do intervalo entre uma linha e outra, os valores de resistência do solo em profundidade foram praticamente idênticos. Observa-se também, que neste caso a alteração da resistência por ação do implemento usado chegou a 35 cm de profundidade, e que as maiores resistências foram medidas, fora da linha de plantio, ao redor de 20 cm de profundidade.

Observa-se na Figura 2, que as médias de alturas de pinus nos 11 sistemas de preparo do solo apresentam 3 patamares. As maiores alturas foram obtidas com preparos do solo (T4, 5, 6 e 7) com uso do ripper, tanto tracionado por trator D6 como por trator de pneus. As menores alturas foram apresentadas nas áreas degradadas independente do sistema de preparo do solo (T1, 2 e 3) e no sistema de plantio por covas abertas manualmente (T11), com um desnível bem acentuado em relação ao patamar intermediário. As alturas intermediárias aconteceram onde foi usada a lâmina KG para a redução da altura dos tocos, que implica em maior tráfego de máquinas sobre a área.

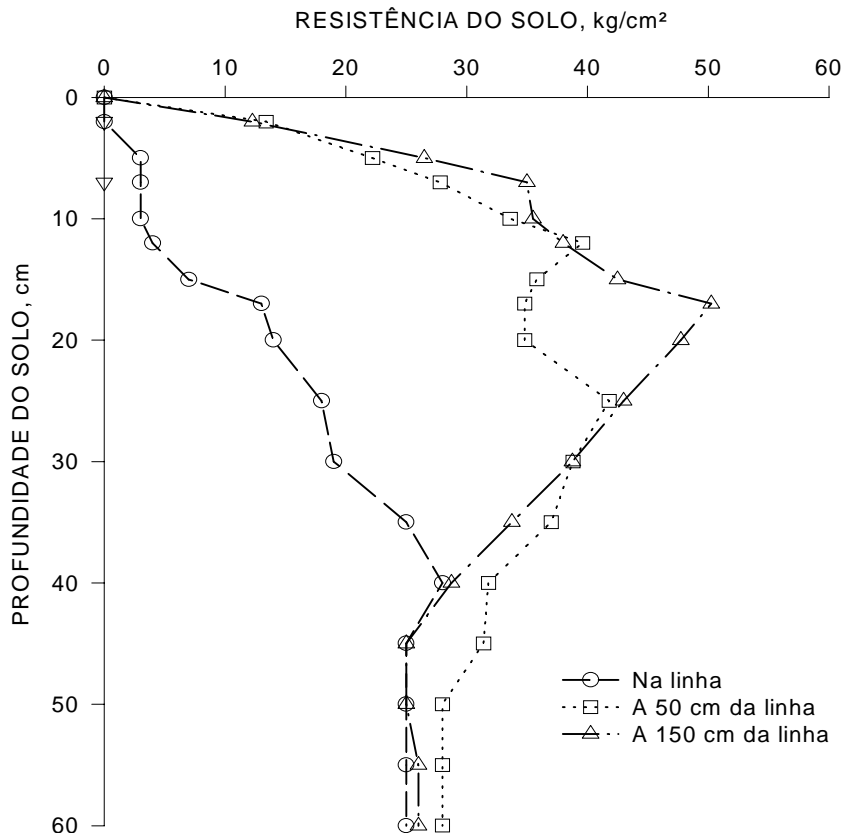


FIGURA 1 Resistência do solo na linha de plantio, a 50 cm da linha de plantio e a 150 cm da linha de plantio, em sistema de preparo do solo (T5) com uso de ripper e trator D6, por profundidade, em Arapoti-PR.

A necessidade de realinhamento prejudicou o desenvolvimento em altura do pinus, pelo maior tráfego e também pelo uso de trator de pneus comparado ao uso de trator D6. Assim, houve maior desenvolvimento das árvores nos tratamentos 5 e 7, sem realinhamento, comparados ao 4 e 6, com realinhamento.

Os sistemas de preparo 8 e 9 são os que mais destoam na correlação entre resistência do solo e altura de pinus. No sistema 8, foi realizado apenas o coveamento para plantio e a resistência do solo na linha não reflete aquela da cova, pelo desenvolvimento em altura da planta. No sistema 9, o preparo do solo na linha com ripper diminuiu a resistência do solo,

mas o uso da lâmina KG e o realinhamento implicaram em várias passagens de máquinas sobre o solo, reduzindo o crescimento das plantas. O mesmo comportamento é observado na Figura 3 para estes dois sistemas de preparo do solo, com a resistência do solo sendo medida na profundidade de 5 cm e a 50 cm da linha de plantio.

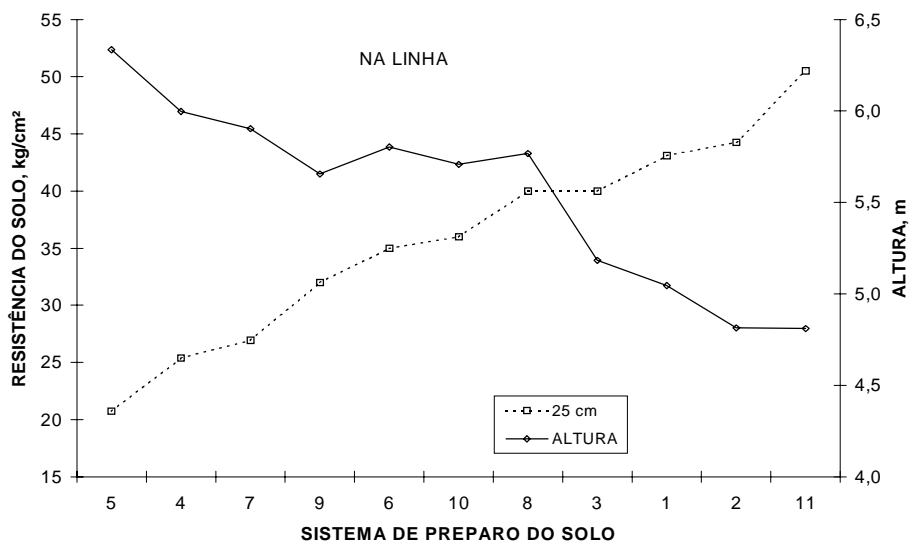


FIGURA 2 Altura média de *Pinus taeda* aos 3 anos e meio de idade e resistência média de solo, medida na linha de plantio na profundidade de 25 cm, por sistema de preparo do solo, Arapoti-PR, 1998.

Na Figura 3, as áreas degradadas (Sistemas de preparo do solo 1, 2 e 3) com menor desenvolvimento das plantas também são as que mostraram maior resistência do solo, medida com penetrógrafo, a 50 cm da linha de plantio. O uso de trator de pneu com lâmina KG aumentou a resistência do solo fora da linha de plantio, que não influenciou proporcionalmente o desenvolvimento das plantas, talvez pelo uso do ripper na linha de plantio (tratamento 10).

Observa-se na Tabela 2, que as melhores correlações entre a altura das plantas e a resistência do solo, medida com o penetrógrafo, considerando-se a linha de plantio e 50 cm afastados da linha de plantio variam com a profundidade do solo. Como o uso de implementos para

diminuir o efeito do tráfego das máquinas de exploração foi apenas na linha de plantio, as melhores correlações ocorrem nas profundidades de 25 e 30 cm, devido ao aprofundamento diferenciado da ação dos implementos.

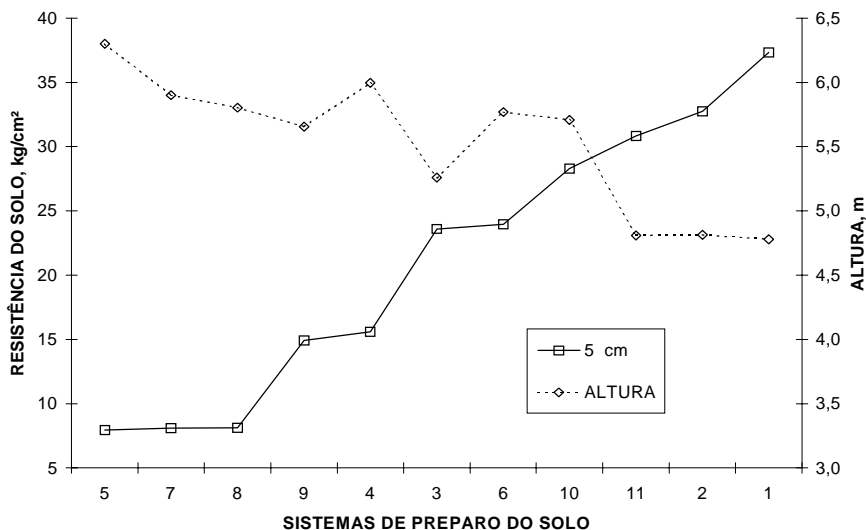


FIGURA 3 Altura média de *Pinus taeda* aos 3 anos e meio e resistência do solo, medida a 50 cm da linha de plantio, na profundidade de 5 cm, por sistemas de preparo do solo, em Arapoti-PR, 1998.

TABELA 2 Coeficiente de correlação entre altura de planta e resistência do solo por profundidade, medida na linha de plantio e a 50 cm desta, em Arapoti-PR, 1998.

Local de Medição	PROFUNDIDADE DO SOLO, CM							
	5	10	15	20	25	30	35	40
COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO, R ²								
Na linha	0,20	0,13	0,20	0,34	0,52	0,52	0,40	0,37
A 50 cm	0,53	0,27	0,14	0,15	0,07	0,01	0,01	0,09

A profundidade alcançada pelos implementos usados (ripper, subsolador, grade pesada) e a força de tração empregada (trator de pneus e D6) varia, sendo que quanto mais profunda a ação dos implementos maior foi o desenvolvimento das plantas. Já a 50 cm da linha de plantio, a ação dos implementos de preparo do solo não foi sentida, e portanto, a profundidade onde ocorreu a maior correlação foi bem superficial, reflexo do efeito da passagem das máquinas usadas na exploração, basicamente do skider.

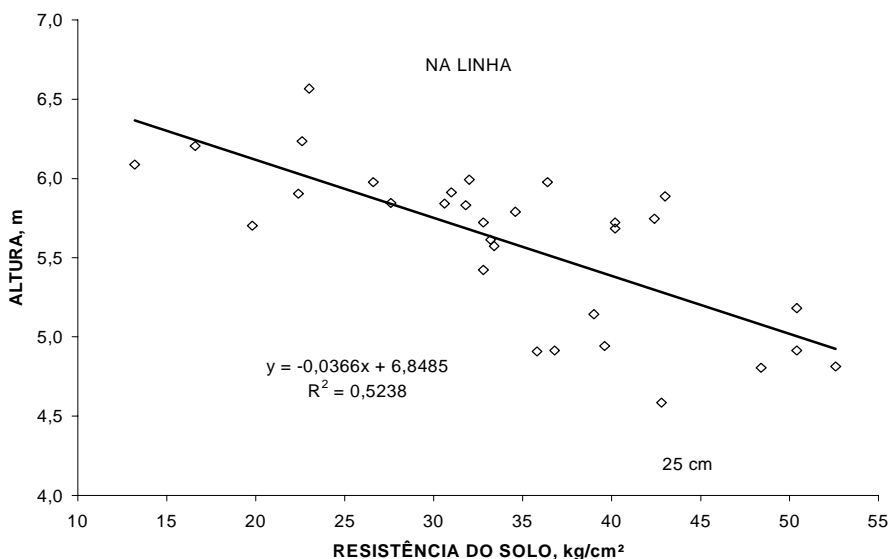


FIGURA 4 Pontos de altura de pinus e resistência do solo na linha de plantio na profundidade de 25 cm e linha de regressão linear que melhor correlaciona estas variáveis, para 11 sistemas de preparo do solo após a exploração da área.

As melhores correlações obtidas entre a altura das plantas e a resistência do solo, medida na linha de plantio e a 50 cm desta, são apresentadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Em ambas, não houve acréscimo expressivo no coeficiente de correlação, pelo uso de outras regressões que não a linear. Pelos coeficientes obtidos, conclui-se que mais do que 50% da variação em altura das plantas, nos diferentes sistemas de preparo do solo adotados, foi devido à alteração da resistência do solo na linha, e que a resistência do solo na entrelinha também é responsável na mesma proporção pelo desenvolvimento das plantas.

A inclinação das retas, tanto na Figura 4 como na 5, não é muito acentuada, talvez em função da variação em altura que foi de, no máximo, 1,8 m entre o tratamento com a maior e a menor média, e em resistência do solo, que foi de 21 a 46 kg/cm² nas medições na linha de plantio e de 8 a 37 kg/cm², a 50 cm da linha.

Na Figura 6, observa-se o efeito do equipamento de tração, na profundidade de trabalho, atingida pelo ripper na linha de plantio. Com o trator de pneus, o ripper atingiu no máximo 20 cm de profundidade no solo, enquanto com o D6, esta profundidade chegou a 45 cm. Esta diferença observada na resistência do solo permitiu aumentar a altura das árvores em até 0,50 m. O realinhamento também aumentou a resistência do solo na linha de plantio e conseqüentemente diminuiu a altura do pinus, em menor proporção do que o efeito produzido pela lâmina KG.

Com o uso de trator de pneus e ripper, foi possível diminuir a resistência do solo na linha de plantio até a profundidade de 35 cm (Figura 7). A subsolagem só foi efetiva até 20 cm de profundidade, enquanto o coveador foi efetivo apenas se comparado com a abertura de cova manual. No sistema preparado com o ripper, foram atingidas as maiores alturas médias de plantas (5,9 m), enquanto as menores foram encontradas no sistema de covas manuais (4,5m).

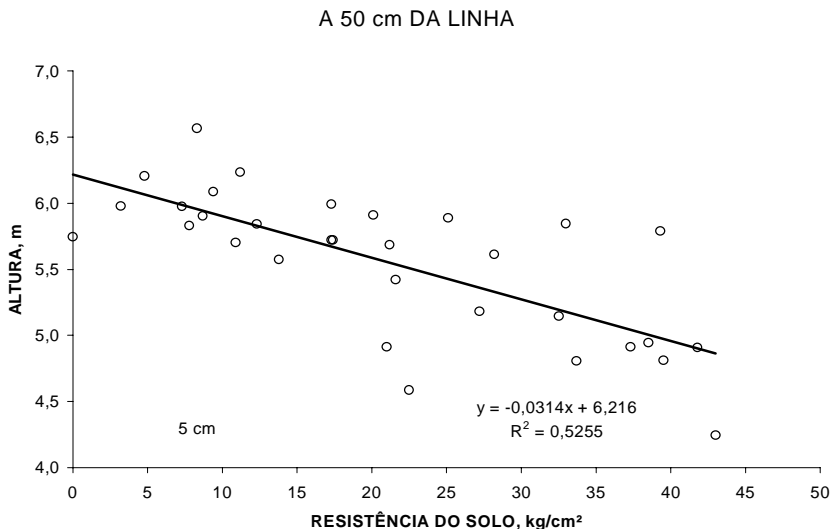


FIGURA 5 Pontos de altura de pinus e resistência do solo a 50 cm da linha de plantio, na profundidade de 5 cm e linha de regressão linear que melhor correlaciona estas variáveis, para 11 sistemas de preparo do solo, após a exploração da área.

O uso da lâmina KG no rebaixamento dos tocos deixados após a exploração de uma área tem efeito diferenciado no aumento da resistência do solo (Figura 8), quando medida a 50 cm da linha de plantio, bem como o realinhamento, no emprego do ripper no preparo do solo tracionado por trator D6 ou trator de pneus. No solo preparado com o uso do trator D6, o efeito da lâmina KG é semelhante ao realinhamento, com maior resistência do solo até a profundidade de 15 cm. Com o uso do trator de pneus, a resistência do solo, até uma profundidade de 25 cm, foi maior com o uso da lâmina KG e um pouco menor com o realinhamento.

Fica evidente que o pinus foi beneficiado no seu desenvolvimento, quando o solo sofreu algum tipo de preparo em área de reforma, seguindo exploração mecanizada. A diferença entre as médias de altura das árvores em solo preparado com ripper tracionado por trator D6 e área de plantio com abertura manual de covas foi de 1,8 m, aos quatro anos e meio de idade. O uso do penetrógrafo para avaliar a resistência do solo permitiu estabelecer boa correlação com o desenvolvimento do pinus, tanto com medições na linha de preparo do solo como a 50 cm desta. Na linha de plantio, a diferença de resistência do solo entre o pior e o melhor tratamento dobrou, enquanto que, a 50 cm da linha de preparo, esta diferença foi quatro vezes maior. As áreas de depósito de madeira e de estacionamento das máquinas de traçamento e descascamento foram as que apresentaram maiores valores de resistência do solo e conseqüentemente tiveram menor desenvolvimento em altura, independente do sistema de preparo do solo usado. O uso do penetrógrafo a 50 cm da linha ou na entrelinha (1,50 m da linha de plantio) não diferiram na avaliação da resistência do solo, apresentando valores muito semelhantes.

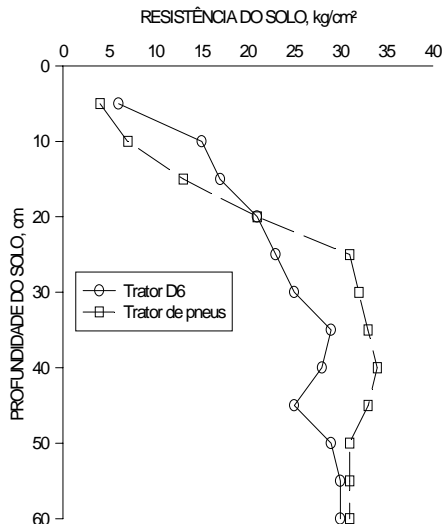


FIGURA 6 Resistência do solo na linha de plantio em sistemas de preparo do solo com ripper e diferentes trações.

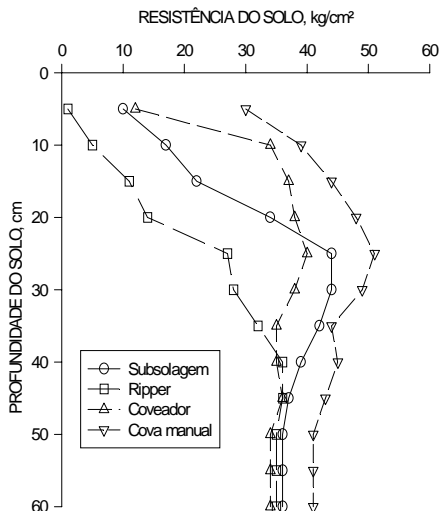


FIGURA 7 Resistência do solo na linha de plantio, segundo o equipamento usado no preparo do solo, com trator de pneus, em profundidade.

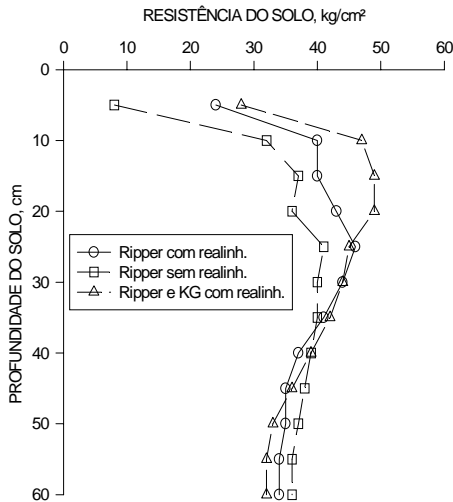
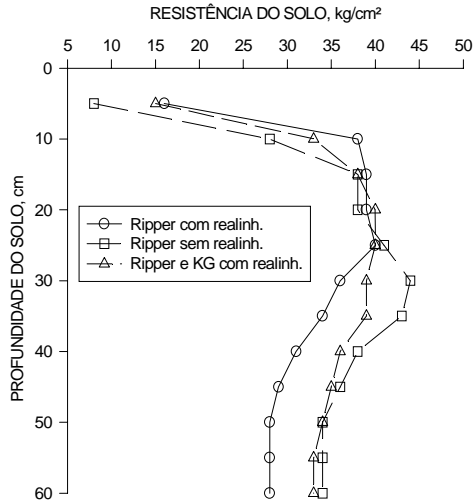


FIGURA 8 Resistência do solo a 50 cm da linha de plantio em sistemas de preparo do solo com ripper e lâmina KG e trator D6 (esquerda) e trator de pneus (direita), em profundidade.

4 CONCLUSÕES

Considerando que se trata de plantios jovens (3 anos e meio) de *Pinus taeda*, cuja idade para corte raso é de 18 a 20 anos, pode-se afirmar que:

- O desenvolvimento do pinus em segunda rotação é prejudicado pela compactação do solo, causada pela colheita mecanizada, fato evidenciado pelo maior crescimento onde houve algum tipo de preparo do solo;
- O preparo do solo na linha de plantio com ripper mostrou-se o mais eficiente em recuperar o solo degradado por ação da colheita mecanizada, avaliado pelo desenvolvimento em altura do pinus;
- As práticas de rebaixamento dos tocos com lâmina aumentam a compactação do solo, causada pela colheita mecanizada, reduzindo o crescimento do pinus;
- O uso do penetrógrafo para avaliar a resistência do solo permitiu estabelecer correlação significativa com altura de pinus, tanto em medições na linha de plantio, como a 50 cm da linha;
- Avaliações de resistência do solo com altura de pinus apresentaram melhores correlações com medições, na linha, a 25 cm de profundidade do solo ($r^2=0,52$) e a 50 cm da linha, na profundidade de 5 cm ($r^2=0,53$).
- O efeito do preparo do solo no desenvolvimento das plantas foi diretamente proporcional à profundidade atingida, sendo que as maiores profundidades foram conseguidas com o uso de maior força de tração (trator D6);
- A 50 cm da linha de plantio não houve efeito do preparo na descompactação do solo, pelos implementos usados, apresentando na superfície os maiores valores de correlação com o crescimento do *P. taeda*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOUGHERTY, P.M.; GRESHAM, C.A. Conceptual analysis of southern pine plantation establishment and early growth. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v.12, n.3, p.160-166, 1988.

- HALVERSON, G.H.; ZISA, R.P. **Measuring the response of conifer seedlings to soil compaction stress**. Washington: USDA. Forest Service, 1982. 6p. (USDA. For. Serv. Res. Paper NE-509).
- INCERTI, M; CLINNICK, P.F.; WILLATT, S.T. Changes in the physical properties of a forest soil following logging. **Australian Forestry Research**, Canberra, v.17, n.2, p.91-98, 1987.
- LACEY, S.T. **Soil deformation and erosion in forestry**. Sydney: Forest Commission of New South Wales, , Research Division, 1993. 62p. (Forestry Commission of New South Wales. Technical Report).
- MACEDO, P.R. de O.; TEIXEIRA, I.J.L. Influência do preparo do solo para reforma florestal no enraizamento de *E. saligna* de 21 meses e suas correlações com o desenvolvimento da floresta. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS, 1988, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 1988. p.42-58.
- MISRA, R.K.; GIBBONS, A.K. Growth and morphology of eucalypt seedling-roots, in relation to soil strength arising from compaction. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.182, n.1, p.1-11, 1996.
- PONDER, F.; MIKKELSON, N.M. Characteristics of a long term forest soil productivity research site in Missouri. In: CENTRAL HARDWOOD FOREST CONFERENCE, 10., 1995, Morgantown. **Proceedings...** Radnor: USDA. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1995. p.272-281. (USDA. For. Ser. Gen. Tec. Rep, NE-197).
- POWERS, R.F.; MORRISON, I.K. Soil and sustainable forest productivity: a preamble. **Soil Science of Society of America Journal**, Madison, v.60, n.6, p.1613, 1996.
- SANDS, R.; GREACEN, E.L.; GERARD, C.J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v.17, n.1, p.101-113, 1979.
- SHETRON, S.G.; STURES, J.A.; PADLEY, E.; TRETTIN, C. Forest soil compaction: effect of multiple passes and loadings on wheel track surface soil bulk density. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v.5, n.2, p.120-123, 1988.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JUNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-222, 1996.