

Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro¹

Resistance to penetration in oxisols: value limit to dry land rice yield

Amauri Nelson Beutler² José Frederico Centurion³

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o valor de resistência à penetração limitante à produtividade de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* cv. IAC 165) no conteúdo de água retida, na tensão de 0,05 e 0,01 MPa. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho, textura média (LVd) e, Latossolo Vermelho, textura argilosa (LVef), coletadas na profundidade de 0,00-0,20m, passadas em peneira de 0,004m e compactados em camadas de 0,03m, em vasos de 0,20m de altura e 0,25m de diâmetro (0,00982m³). Os valores de resistência à penetração foram determinados com o penetrômetro de anel dinamométrico. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições. No conteúdo de água retida, na tensão de 0,01MPa, o valor de resistência do solo à penetração limitante à produtividade de grãos de arroz de sequeiro foi de 2,38 e 2,07MPa, respectivamente, para o LVd e LVef. No conteúdo de água retida na tensão de 0,05MPa foram obtidas maiores produções no menor valor de resistência à penetração. O arroz de sequeiro foi menos produtivo no conteúdo de água retida na tensão de 0,05MPa.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, compactação do solo, conteúdo de água.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the value of resistance to penetration limit to dry land rice yield (*Oryza sativa* cv. IAC 165) grown in soil with water content at tension of 0.05 and 0.01MPa. Soil was sampled at 0.00-0.20m depth in Haplustox, medium texture (LVd) and Eutruxox, clayey (LVef) and compacted in layers of 0.03m in pots of 0.20m height and 0.25m diameter (0.00982m³). The values of resistance to penetration were measured by dynamometric ring penetrometer. The experiment was complete randomized, in a 4 x 2 factorial,

with 3 replications. For the water content at tension of 0.01MPa, the value of resistance to penetration limit to dry land rice yield was 2.38 and 2.07MPa, respectively, for LVd and LVef. Higher rice yield was obtained in smaller value of resistance to penetration in water content at tension of 0.05MPa. The dry land rice was less productive in soil with water content at tension of 0.05MPa.

Key words: *Oryza sativa*, soil compaction, soil water content.

INTRODUÇÃO

O arroz de sequeiro é cultivado predominantemente nos cerrados, sendo a área de cultivo incrementada anualmente. Isto ocorre graças à criação de novos cultivares com produtividade mais estável e melhor qualidade dos grãos e à geração de tecnologias na área de herbicidas e máquinas agrícolas, que tornaram o seu cultivo uma atividade mais rentável. Ainda, o aumento das áreas com sistema de plantio direto e o baixo custo comercial do milho utilizado na rotação com a soja em plantio direto tem estimulado o cultivo de arroz de sequeiro como alternativa para rotação de culturas, situação em que, sob condições de irrigação por aspersão, são obtidas produtividades acima de 4t ha⁻¹ (MOURA NETO, 2001).

O cultivo de arroz de sequeiro, em sistema de plantio direto, é incipiente e promissor, sendo a compactação do solo o principal fator físico

¹Parte da tese de doutorado do primeiro autor.

²Aluno de Pós-doutorado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Via de Acesso Rodovia Paulo Donato Castellane s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP. Bolsista da Fapesp. E-mail: amaurib@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

³Professor Adjunto, UNESP, FCAV, Jaboticabal, SP. Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Email: jfcentur@fcav.unesp.br

limitante ao crescimento radical e à produtividade (MOURA NETO, 2001). GUIMARÃES & MOREIRA (2001) verificaram menores produções de massa seca de arroz das variedades cultivadas Caiapó e Corad L-141, em casa-de-vegetação, a partir da densidade do solo de $1,2\text{kg dm}^{-3}$, em Latossolo Vermelho de textura média mantido no conteúdo de água retida sob tensão inferior $0,035\text{MPa}$.

A compactação do solo provoca modificações na estrutura, caracterizadas pela redução da porosidade total e da macroporosidade e aumento da microporosidade. Esta é comumente avaliada através da resistência à penetração devido a sua boa correlação com o crescimento radical e a produtividade das plantas (IMHOFF et al., 2000; HOAD et al., 2001), no entanto, é influenciada pelo conteúdo de água e pela condição estrutural do solo (HAMBLIM, 1985; TARDIEU, 1994).

O impedimento mecânico do solo provoca redução do comprimento e maior espessura das raízes, refletindo em menor produtividade de matéria seca da parte aérea e de grãos, devido ao inadequado suprimento de água e nutrientes à parte aérea (ATWELL, 1990a). A redução no comprimento radicular diminui o volume de solo explorado pelas raízes, podendo reduzir a absorção de P, que é pouco móvel no solo e transportado tipicamente por difusão e de potássio com predomínio da difusão sobre o fluxo de massa (DOLAN et al., 1992; NOVAIS & SMYTH, 1999). Além disso, ATWELL (1990b) argumenta que o carbono alocado para a parte aérea é reduzido em condições de altas compactações devido à maior necessidade de carboidratos às raízes.

Da mesma forma que solos excessivamente compactados são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, em solos muito porosos, o crescimento radical pode não ser afetado, mas o menor contato solo/raiz impossibilita o adequado suprimento de água e nutrientes pelas raízes, resultando em menor desenvolvimento e produtividade das plantas (DEXTER, 1987; KOPI & DOUGLAS, 1991; HAKANSSON et al., 1998). Neste sentido, STIRZAKER et al. (1996) verificaram, em casa-de-vegetação, que a densidade do solo intermediária proporcionou maior crescimento de cevada e que, em condições de menor conteúdo de água do solo, menores valores de densidade foram mais propícios ao crescimento da cultura.

Valores críticos de resistência à penetração variam de $1,5$ a $4,0\text{MPa}$ (TOPP et al., 1994; ARSHAD et al., 1996; ROSOLEM et al., 1999), sendo o valor de 2MPa aceito como impeditivo ao crescimento radical (TORMENA et al., 1998). Valores

entre 2 e 3MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radical de trigo, milho e pastagem (IMHOFF et al., 2000). MIELNICZUK et al. (1985) verificaram, em Latossolo Roxo em casa-de-vegetação, menor produtividade de matéria seca da parte aérea de aveia e trigo na resistência à penetração de $3,03\text{MPa}$ e milho em $2,35\text{MPa}$, no conteúdo de água de $0,28\text{kg kg}^{-1}$.

Estudos como os de ROSOLEM et al. (1999) demonstram que a compactação é mais freqüente e prejudicial em Latossolos, que são os principais solos do Brasil. Assim, objetivou-se determinar o valor de resistência à penetração a partir do qual ocorre redução da produtividade de grãos de arroz de sequeiro em dois conteúdos de água e para Latossolo Vermelho de textura média e argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP de Jaboticabal (SP), em Latossolo Vermelho distrófico típico textura média A moderado caulínico hipoférrico (LVd), e Latossolo Vermelho eutroférico típico textura argilosa A moderado caulínico-oxídico (LVef). A composição granulométrica foi determinada em amostras deformadas através da dispersão com NaOH ($0,1\text{mol L}^{-1}$) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (DAY, 1965). Os solos LVd e LVef apresentaram, respectivamente: 271 e 517g dm^{-3} de argila, 42 e 256g dm^{-3} de silte e 687 e 227g dm^{-3} de areia, e densidade de partículas de $2,82$ e $2,98\text{g dm}^{-3}$.

As amostras dos solos foram coletadas na camada de $0-20\text{cm}$ e passadas em peneira de $0,4\text{cm}$. Os solos foram adubados segundo RAIJ et al. (1996), sendo utilizado em um m^3 de solo a adubação referente a 5m^2 no campo, cuja análise química seguiu a metodologia de RAIJ et al. (1987).

Após a adubação, foram ajustados os conteúdos de água de $0,11$ e $0,14\text{kg kg}^{-1}$ no LVd e $0,24$ e $0,27\text{kg kg}^{-1}$ no LVef, correspondentes aos conteúdos de água retida nas tensões de $0,05$ e $0,01\text{MPa}$, respectivamente. Estes conteúdos de água foram determinados previamente em câmaras de Richards (KLUTE, 1986), usando amostras indeformadas coletadas em vasos referentes a uma repetição dos tratamentos utilizado apenas para análises físicas. Em seguida, o solo foi colocado em vaso cilíndrico de PVC com capacidade de $0,00982\text{m}^3$ ($0,20\text{m}$ de altura e $0,25\text{m}$ de diâmetro), em camadas de $0,03\text{m}$. Cada camada foi compactada através da

queda livre de um êmbolo de 7kg, da altura de 0,60m, no centro geométrico de uma superfície de madeira com diâmetro ligeiramente inferior ao vaso, semelhante ao descrito por MORAES et al. (1991). Foram estabelecidos 4 níveis de resistência do solo à penetração.

A resistência à penetração foi determinada com o penetrômetro de anel dinamométrico (Solotest 1.210.001), com ângulo de cone de 30° recomendado pela ASAE (1976). As leituras foram realizadas quando a base do cone atingiu a profundidade de 0,03 m, e o valor de cada repetição foi obtido da média de 4 subdeterminações. Foram utilizados cones com área de 0,000633; 0,00038; 0,000113 e 0,000028m², respectivamente, diminuindo a área do cone com o incremento da compactação do solo.

Foram semeadas três sementes por cova (4 covas por vaso) de arroz (*Oryza sativa* cv. IAC 165), em 2001. Após 7 dias, realizou-se o desbaste, deixando quatro plantas de arroz por vaso, respectivamente. Nesta data, foram aplicados os tratamentos de conteúdo de água, visto que foi necessário aumentar o conteúdo de água do solo para possibilitar a germinação nos vasos mais secos e compactados. Aos 30 dias, foi realizada adubação de cobertura com uréia. O conteúdo de água foi mantido constante, por meio de duas pesagens diárias dos vasos referentes a uma repetição e reposição de água, através de tubo de PVC perfurado, instalado no centro geométrico do vaso, sendo feita a pesagem e rodízio de todos vasos a cada cinco dias.

Foram avaliadas a altura das plantas, perfilhos por planta, cachos por planta, grãos por cacho, grãos cheios e grãos vazios, massa de 100 sementes, produtividade de grãos, produtividade de matéria seca da parte aérea e das raízes. A umidade dos grãos foi ajustada a 0,12kg kg⁻¹ pela fórmula a seguir: $P = P_i * ((100 - U_i)/(100 - U_f))$; em que, P é a produtividade final com 0,12kg kg⁻¹ de umidade, P_i é a produtividade inicial, U_i é a umidade inicial e U_f é a umidade final de 0,12kg kg⁻¹.

Os tratamentos consistiram de quatro valores de resistência à penetração e dois conteúdos de água, constituindo um experimento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições, para cada solo. Foram realizadas análises de variância, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e, regressão entre a resistência à penetração e produtividade matéria seca da parte aérea, das raízes e de grãos. A análise estatística do número de perfilhos por planta, cachos por planta, grãos por cacho, grãos cheios e

vazios por planta foi realizada com dados transformados através de \sqrt{x} . As análises foram processadas por meio do Statistical Analysis System (SAS, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de plantas, o número de perfilhos, cachos, grãos por cacho e massa de 100 sementes de arroz, no maior conteúdo de água (Tabela 1), demonstram efeito benéfico de uma pequena compactação do solo, nos dois solos. Entretanto, no menor conteúdo de água, os componentes de produtividade demonstram que a compactação foi prejudicial ao desenvolvimento da cultura, nos dois solos. STIRZAKER et al. (1996) obtiveram resultados semelhantes em cevada cultivada em casa-de-vegetação. Estes autores verificaram que, em maiores conteúdos de água, a densidade do solo intermediária proporcionou maior desenvolvimento de cevada e que, em solos mais secos, a menor densidade do solo foi mais favorável ao desenvolvimento da cultura.

A análise estatística revelou interação significativa entre o conteúdo gravimétrico de água e a resistência do solo à penetração, demonstrando valores superiores dos componentes de desenvolvimento do arroz, principalmente o número de cachos e de grãos cheios, responsáveis por maior produtividade (MOURA NETO, 2001), no maior conteúdo de água, condizente com o maior conteúdo de água no solo. Estudos com milho demonstraram que o conteúdo de água no solo é o principal fator que afeta a taxa de crescimento das raízes (MACKAY & BARBER, 1985). Estes autores obtiveram maior comprimento radical quando o conteúdo de água aumentou de 0,22 a 0,27m³ m⁻³.

Nas figuras 1 e 2, respectivamente, para o LVd e LVef, observa-se menores produções de matéria seca das raízes e da parte aérea, no menor valor de resistência à penetração, nos dois conteúdos de água, exceto para a matéria seca das raízes no maior conteúdo de água no LVd (Figura 1). Entretanto, no menor conteúdo de água, a produtividade de grãos foi superior no menor valor de resistência à penetração, mesmo com o solo extremamente poroso, ao passo que as raízes não conseguiram ancorar-se no solo (Figuras 1 e 2). Isto possivelmente está relacionado ao maior comprimento e melhor distribuição espacial das raízes no solo que favorece maior absorção de água e nutrientes, conforme mencionado por TARDIEU (1988). Este autor afirma que a absorção de água pelas raízes ocorre em um raio médio de 0,02m.

Tabela 1- Componentes do desenvolvimento de arroz de sequeiro em valores de resistência à penetração e conteúdos de água no LVd e LVef.

| Resistência à penetração | Altura por planta | Perfilhos por planta | Cachos por planta | Grãos por cacho | Grãos cheios por planta | Grãos vazios por planta | Massa de 100 ementes |
|--|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| MPa | cm | | | | | | g |
| LVd | | | | | | | |
| Conteúdo de água de 0,11 kg kg ⁻¹ | | | | | | | |
| 0,27 | 18,42 Cb | 0,58 Bb | 1,04 Bb | 72,78 Aa | 48,25 Ab | 27,08 Bb | 2,94 Aa |
| 2,04 | 27,50 Ab | 1,50 Ab | 2,50 Ab | 63,22 Aba | 29,92 ABb | 127,33 Aa | 1,08 Bb |
| 2,75 | 26,58 Ab | 1,50 Ab | 2,42 Ab | 55,35 Aba | 15,08 BCb | 118,75 Aa | 0,80 Bb |
| 4,18 | 23,58 Bb | 1,25 Ab | 2,17 Ab | 46,17 Bb | 8,17 Cb | 91,83 Aa | 0,78 Bb |
| Conteúdo de água de 0,14 kg kg ⁻¹ | | | | | | | |
| 0,31 | 28,33 Ba | 2,25 Ba | 3,17 Ba | 54,79 Bb | 81,25 Ba | 91,25 Aa | 1,89 Bb |
| 1,79 | 31,67 Aa | 2,25 Ba | 3,17 ABa | 73,29 Aa | 155,42 Aa | 75,92 Ab | 2,67 Aa |
| 2,32 | 32,50 Aa | 3,50 Aa | 3,92 Aa | 53,72 Ba | 131,42 Aa | 78,92 Ab | 2,51 Aa |
| 3,58 | 32,42 Aa | 2,92 Aba | 3,58 Ba | 58,93 Ba | 130,25 Aa | 79,50 Aa | 2,43 Aa |
| CV, % | 3,62 | 8,18 | 4,02 | 3,41 | 7,97 | 8,99 | 11,57 |
| LVef | | | | | | | |
| Conteúdo de água de 0,24 kg kg ⁻¹ | | | | | | | |
| 0,43 | 26,17 Bb | 2,17 Aa | 2,50 Bb | 56,78 Aa | 37,00 Ab | 104,00 Bb | 1,27 Aa |
| 2,52 | 32,50 Ab | 2,08 Ab | 3,08 Ab | 60,41 Ab | 4,17 Bb | 181,75 Ab | 0,56 Bb |
| 3,83 | 31,75 Ab | 2,33 Ab | 3,33 Ab | 56,77 Aa | 3,42 Bb | 185,58 Ab | 0,53 Bb |
| 4,32 | 30,50 Ab | 2,00 Ab | 3,00 Ab | 63,97 Ab | 2,25 Bb | 189,67 Ab | 0,46 Bb |
| Conteúdo de água de 0,27 kg kg ⁻¹ | | | | | | | |
| 0,27 | 30,25 Ba | 2,58 Ca | 3,17 Ba | 69,01 Aa | 64,33 Aa | 154,08 Ba | 1,40 Aa |
| 1,78 | 35,58 Aa | 4,83 Aa | 5,50 Aa | 65,15 Aa | 80,33 Aa | 274,42 Aa | 1,25 Aa |
| 2,54 | 35,00 Aa | 3,92 ABa | 4,75 Aa | 77,45 Aa | 50,67 Aa | 315,67 Aa | 1,08 Aa |
| 4,03 | 34,58 Aa | 3,75 Ba | 4,67 Aa | 70,32 Aa | 35,92 Aa | 291,33 Aa | 0,89 Aa |
| CV, % | 2,78 | 6,41 | 3,60 | 5,22 | 22,89 | 3,43 | 18,83 |

Médias, na coluna, seguidas pela mesma letra maiúscula no mesmo conteúdo de água e minúscula entre conteúdos de água, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em casa-de-vegetação foi observado maior desenvolvimento de cevada no menor valor de densidade do solo, em condição de menor conteúdo de água (STIRZAKER et al., 1996). Neste sentido, DEXTER (1987) afirma que o crescimento pode ser inibido na resistência à penetração de 1MPa em solo seco, no entanto, em solo úmido, pode haver crescimento em valores de resistência à penetração superiores a 4MPa.

Maiores produções de matéria seca das raízes, da parte aérea e de grãos de arroz foram observadas no maior conteúdo de água no solo (Figuras 1 e 2). MACKAY & BARBER (1985) e TARDIEU (1994) verificaram que o conteúdo de água no solo é o principal determinante do crescimento de plantas; NOVAIS & SMYTH (1999) afirmaram que, aumentando o conteúdo

de água no solo, diminui a interação íon-colóide, aumentando a disponibilidade e a difusão de nutrientes na solução do solo, especialmente o fósforo que é fortemente fixado em oxisolos.

Ainda, no maior conteúdo de água, verificou-se que uma pequena compactação de 1,79 MPa foi benéfica à produtividade, corroborando os estudos de STIRZAKER et al. (1996), em casa-de-vegetação. Isto ocorre graças ao aumento da quantidade de partículas de solo explorado pelas raízes, e um contato mais íntimo entre o solo, a solução e as raízes, fazendo com que os nutrientes atinjam mais rapidamente os pontos de absorção. Neste contexto, KOPI & DOUGLAS (1991) afirmaram que uma grande área de contato solo/raiz, espaço poroso suficiente para o movimento de água e gases e baixa

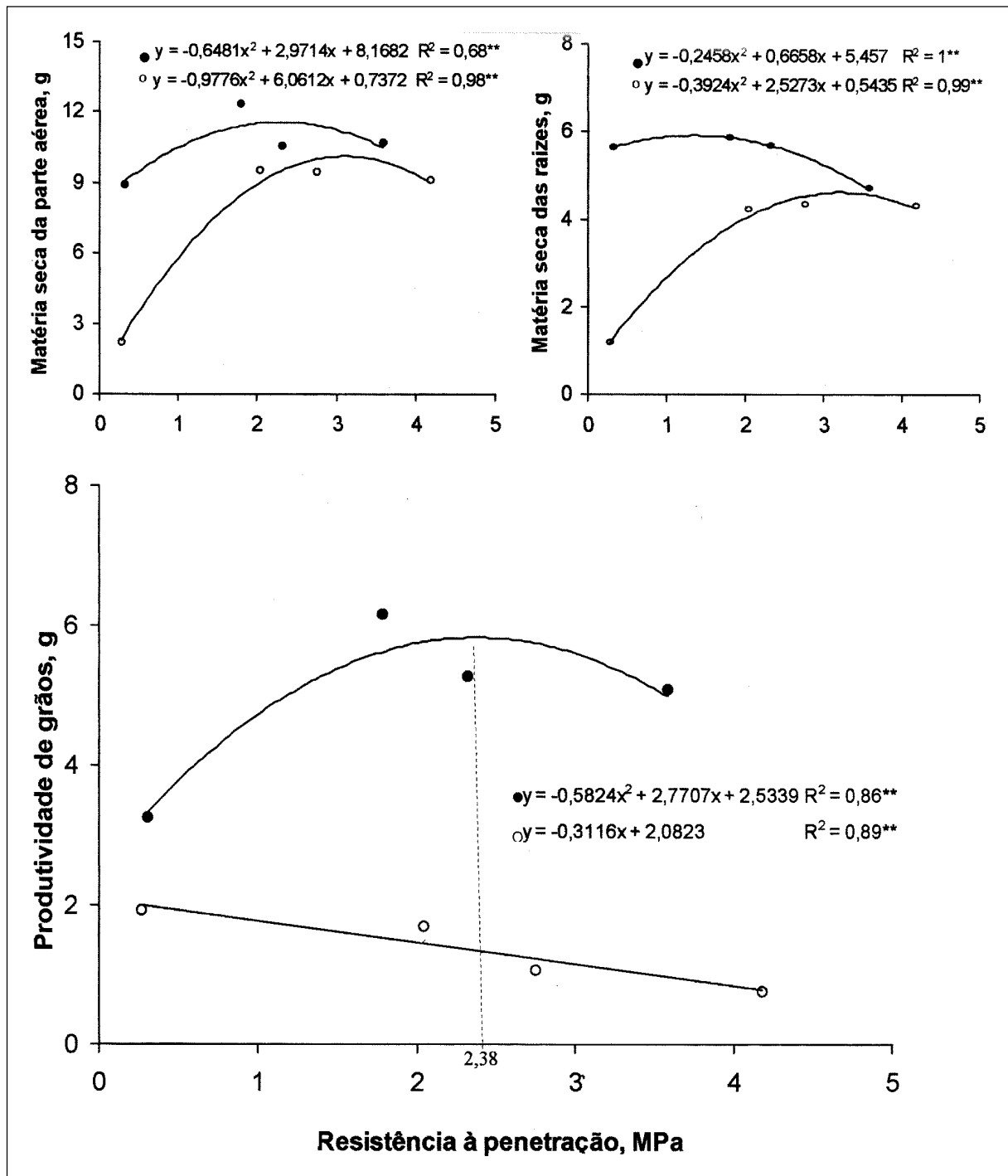


Figura 1- Produtividade de matéria seca da parte aérea, das raízes e de grãos por planta, no LVd em valores de resistência à penetração e conteúdos de água. (o) Conteúdo de água retida na tensão de 0,05 MPa (0,11 kg kg⁻¹); (●) Conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa (0,14 kg kg⁻¹).

resistência do solo à penetração das raízes seria a estrutura do solo ideal ao crescimento das plantas.

Visto que a condição de solo solto se desfaz, no campo, logo após as primeiras chuvas, será enfatizado

o valor de resistência à penetração a partir do qual ocorre redução da produtividade de arroz de sequeiro.

Nas figuras 1 e 2, respectivamente, para LVd e LVef, observa-se redução da produtividade de

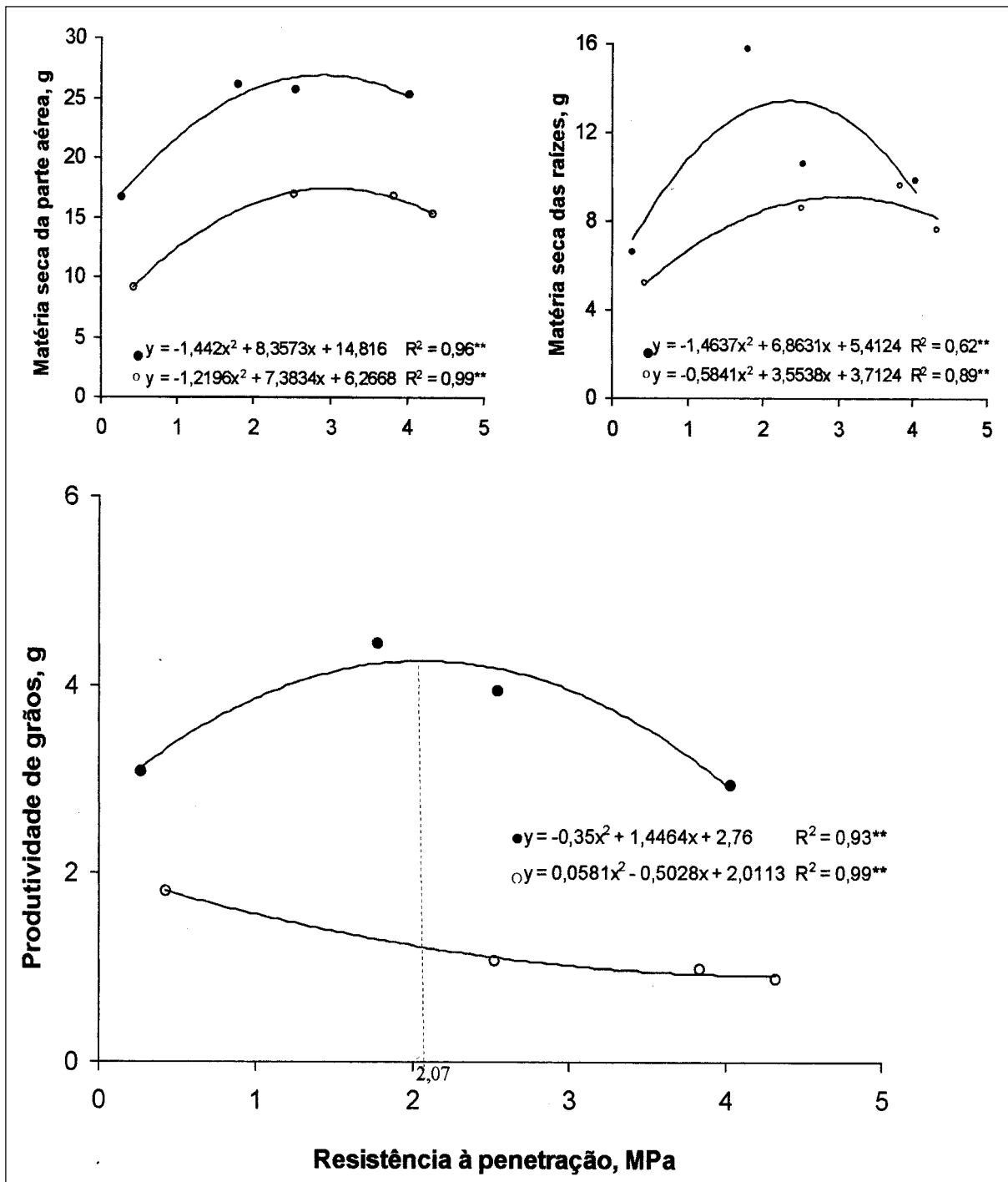


Figura 2- Produtividade de matéria seca da parte aérea, das raízes e de grãos por planta, no LVeF em valores de resistência à penetração e conteúdos de água. (o) Conteúdo de água retida na tensão de 0,05 MPa ($0,24 \text{ kg kg}^{-1}$); (●) Conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa ($0,27 \text{ kg kg}^{-1}$).

grãos de arroz, no menor conteúdo de água, a partir da condição de solo solto. No maior conteúdo de água, ocorreu redução da produtividade a partir da resistência do solo à penetração de 2,38 e 2,07 MPa,

respectivamente, no LVd e LVeF. Entretanto, a produtividade de matéria seca da parte aérea foi restringida a partir de 2,30 e 2,90 MPa, respectivamente, no LVd e LVeF. MIELNICZUK et

al. (1985) verificaram em Latossolo Roxo, em casa-de-vegetação, menor produtividade de matéria seca da parte aérea de aveia e trigo em 3,03 MPa.

A redução na produtividade, no maior conteúdo de água, a partir da excessiva resistência do solo à penetração, ocorreu principalmente devido ao impedimento mecânico ao crescimento radical, já que a porosidade de aeração mínima de $0,10\text{m}^3\text{m}^{-3}$ não foi fator limitante, conforme verificado por BEUTLER et al. (2002). Segundo ATWELL (1990a), a restrição no crescimento radical ocorre devido à incapacidade das raízes manter pressão de turgor suficiente para mover as partículas de solo. Assim, nas condições adversas ao crescimento, as raízes enviam sinais à parte aérea informando à planta que as condições para seu funcionamento estão se restringindo e que é necessário reduzir a taxa de crescimento, refletindo em menor produtividade (BENGOUGH et al., 1997).

Com um pequeno aumento da compactação, ocorreu maior produtividade de matéria seca de raízes, confirmando os resultados de ATWELL (1990a). No entanto, este pesquisador afirma que essas são mais espessas e curtas, diminuindo a absorção de água e nutrientes e, ainda nesta condição, ATWELL (1990b) afirma que ocorre menor alocação de carbono na parte aérea em função do maior consumo de carboidratos pelas raízes. Menor comprimento radical e concentração de raízes de arroz de sequeiro das variedades cultivadas Caiapó e Cirad L-141 na camada superficial com o aumento da compactação do solo também foram verificados nos estudos de GUIMARÃES & MOREIRA (2001), em casa-de-vegetação, em Latossolo Vermelho textura média. Ainda estes autores verificaram que as variedades cultivadas apresentaram comportamento semelhante em relação à compactação e menor produtividade de matéria seca da parte aérea a partir da densidade do solo de 1,2 até $1,7\text{kg dm}^{-3}$, mostrando-se extremamente sensíveis à compactação.

O menor crescimento radical pode resultar em menor absorção de fósforo que é transportado no solo por difusão e absorvido a distâncias não superiores a um mm da raiz (NOVAIS & SMYTH, 1999) e, de potássio que, segundo DOLAN et al. (1992) é transportado com predomínio da difusão sobre o fluxo de massa, resultando em menor desenvolvimento das plantas com o aumento da compactação. Em solos compactados, o transporte de nutrientes é facilitado porque diminui a tortuosidade dos poros, por outro lado, ocorre uma maior interação dos íons com o solo (HIRA & SINGH, 1977).

Em solos mais porosos, as plantas suportam maiores níveis de resistência à penetração, pois aumenta o contato solo/raiz e assim a quantidade de água e nutrientes absorvidos por unidade de raiz (HAMBLIM, 1985). Isto não foi observado neste estudo, no conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa, em que o valor de resistência à penetração a partir do qual ocorreu redução da produtividade de grãos de arroz foi de 2,38MPa e 2,07, respectivamente, no LVd e LVef (Figuras 1 e 2). BEUTLER et al. (2002) relataram maior porosidade total no LVef. O incremento na compactação induziu as raízes a se concentrarem na camada superficial, sendo que no LVef, a produtividade de matéria seca das raízes e da parte aérea foi 2 vezes superior, comparado ao LVd.

Assim, as plantas demonstraram potencial para alta produtividade de grãos no LVef, confirmado pelo maior número de grãos por planta, no entanto, não ocorreu enchimento da maioria destes grãos. Visto que o teor de nutrientes na parte aérea das plantas foi semelhante no LVd e LVef, a menor produtividade de arroz no LVef em relação ao LVd, no conteúdo de água retida na tensão de 0,01MPa possivelmente ocorreu devido a períodos com menor conteúdo de água no solo entre as irrigações, ocorrido neste solo em função do maior consumo de água pela parte aérea, duas vezes superior no LVef. Neste contexto, MOURA NETO (2001) afirma que a cultura de arroz de sequeiro é muito sensível a déficit hídrico na fase reprodutiva.

Em milho, a resistência à penetração de 3,5MPa, em Latossolo Roxo muito argiloso, no campo, não restringiu o desenvolvimento radical (TAVARES FILHO et al., 2001). Esse valor é muito superior aos encontrados como limitantes para o arroz de sequeiro. Essas diferenças podem ser explicadas, em parte, pelo penetrômetro de impacto utilizado na determinação da resistência à penetração. Segundo BEUTLER et al. (2002), o penetrômetro de impacto determina valores superiores e essas diferenças aumentam com a compactação e o teor de argila, comparado ao penetrômetro de anel dinamométrico, mostrando a necessidade de cautela na interpretação de valores obtidos como limites ao desenvolvimento das culturas.

CONCLUSÕES

O valor de resistência do solo à penetração limitante à produtividade de grãos de arroz de sequeiro foi de 2,38 e 2,07MPa, respectivamente, no Latossolo Vermelho textura média e Latossolo Vermelho textura argilosa, no conteúdo de água retida na tensão de 0,01MPa. No conteúdo de água retida na tensão de

0,05MPa, foram obtidas menores produções e o menor valor de resistência à penetração proporcionou maiores produções de arroz de sequeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: ASAE. **Agricultural engineers yearbook**. Saint Joseph, 1976. p.368-369. (ASAE Re., 313.1).
- ARSHAD, M.A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA Special publication n.49).
- ATWELL, B.J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering: I. Growth, development and root structure. **New Phytologist**, Cambridge, v.115, p.29-35, 1990a.
- ATWELL, B.J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering: III. Fate of carbon transported to the root structure. **New Phytologist**, Cambridge, v.115, p.43-49, 1990b.
- BENGOUGH, A.G. et al. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.189, p.155-164, 1997.
- BEUTLER, A.N. et al. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, p.191-199, 2002.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analyses. In: **Methods of soil analysis**. Madison : American Society of Agronomy, 1965. p.545-566.
- DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.98, p.303-312, 1987.
- DOLAN, M.S. et al. Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.639-642, 1992.
- GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.703-707, 2001.
- HAKANSSON, I. et al. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in sweden. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.46, p.209-223, 1998.
- HAMBLIM, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.95-158, 1985.
- HIRA, G.S.; SINGH, N.T. Observe and predicted rates of phosphorus diffusion in soils of varying bulk density and water content. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, p.537-540, 1977.
- HOAD, S.P. et al. The management of wheat, barley, and oat root systems. **Advances in Agronomy**, New York, v.74, p.195-254, 2001.
- IMHOFF, S. et al. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1493-1500, 2000.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison : American Society of Agronomy, 1986. Part.1, p.635-662.
- KOPI, A.J.; DOUGLAS, J.T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil Use Management**, v.7, p.52-56, 1991.
- MACKAY, A.D.; BARBER, S.A. Effect of soil moisture and phosphate level on root hair growth of corn roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.86, p.321-331, 1985.
- MIELNICZUK, J. et al. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.38, p.42-43, 1985.
- MORAES, M.H. et al. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (*Glycine max* (L) Merrill). **Científica**, São Paulo, v.19, p.195-206, 1991.
- MOURA NETO, F.P. **Desempenho de cultivares de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional**. 2001. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciência do Solo, UFLA.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa : UFV, 1999. 399p.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas : INSTITUTO AGRÔNOMICO & FUNDAÇÃO IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAIJ, B. van, et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. 170p.
- ROSOLEM, C.A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.821-828, 1999.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT procedure guide for personal computers**. Version 5.ed. Cary, 1996. 1686p.
- STIRZAKER, R.J. et al. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.185, p.151-162, 1996.
- TARDIEU, F. Analysis of the spatial variability in maize root density. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.109, p.257-262, 1988.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, p.217-243, 1994.
- TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.725-730, 2001.
- TOPP, G.C. et al. **Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure**. Ottawa: Soil Quality Evaluation Program, 1994. 96p. (Technical report, 2).
- TORMENA, C.A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.