

PROPRIEDADES DO SOLO E SISTEMA RADICULAR DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM ROTAÇÃO DE CULTURAS⁽¹⁾

E. B. WUTKE⁽²⁾, F. B. ARRUDA⁽³⁾, A. L. FANCELLI⁽⁴⁾, J. C. V. N. A. PEREIRA⁽⁵⁾,
E. SAKAI⁽³⁾, M. FUJIWARA⁽³⁾ & G. M. B. AMBROSANO⁽⁶⁾

RESUMO

O crescimento do sistema radicular do feijoeiro irrigado, cultivar IAC-Carioca, sob pivô central, em rotação com pousio, milho, aveia preta, *Crotalaria juncea* L., guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e mucuna preta (*Mucuna aterrima*), no período não-convencional de cultivo no outono-inverno, foi avaliado de 1993 a 1995, em Latossolo Vermelho eutroférico típico, em área experimental do Instituto Agronômico, em Ribeirão Preto, São Paulo. A rotação de culturas do feijoeiro com milho e adubos verdes favoreceu a redução da resistência do solo à penetração na camada arável, garantiu a manutenção do teor de matéria orgânica do solo, bem como possibilitou a redução da acidez e o aumento do índice de saturação por bases (V%) em profundidade em relação ao teor inicial. A velocidade de infiltração básica da água no solo foi favorecida pela inclusão da mucuna preta, da *Crotalaria juncea* L. e do milho, no esquema de rotações. A profundidade efetiva observada do seu sistema radicular foi de 0,35 a 0,40 m.

Termos de indexação: *Phaseolus vulgaris* L., irrigação, raízes, adubos verdes.

SUMMARY: *SOIL PROPERTIES AND ROOT SYSTEM OF IRRIGATED COMMON BEANS IN CROP ROTATION*

Root system growth of the common bean, variety IAC-Carioca, under center pivot irrigation in rotation with fallow; corn; black oat; sunn hemp (Crotalaria juncea L.); pigeon pea [Cajanus cajan (L.) Millsp.] and velvet bean (Mucuna aterrima) was evaluated during

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado em Agronomia, da primeira autora, apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP. Trabalho parcialmente apresentado no XXVI Cong. Bras. Ciência do Solo, de 20 a 26/07/1997, Rio de Janeiro, RJ e na VI RENAFAE, de 21 a 26/11/1999, Salvador, BA. Com recursos da FAPESP. Recebido para publicação em dezembro de 1998 e aprovado em abril de 2000.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Plantas Graníferas, Instituto Agronômico de Campinas - IAC. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). E-mail: ebwutke@cec.iac.br

⁽³⁾ Pesquisador Centro de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agronômico de Campinas - IAC. E-mail: farruda@cec.iac.br

⁽⁴⁾ Professor Doutor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, nº 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

⁽⁵⁾ Pesquisador do Núcleo de Agronomia da Alta Mogiana, IAC.

⁽⁶⁾ Professor Doutor da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - FOP/UNICAMP. Caixa Postal 52, CEP 13414-018 Piracicaba (SP).

a non-conventional (Autumn – Winter) cultivation period, from 1993 to 1995, on a typical Haplorthox soil, at an experimental area of the Instituto Agronômico, in Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. The crop sequences of common bean with corn and green manure reduced the soil resistance to penetration into the ploughed layer; maintained the normal contents of the soil organic matter; reduced acidity and increased the base saturation index in depth, in relation to the initial content. The basic infiltration rate was increased with the inclusion of velvet bean, sunn hemp and corn in the crop sequence. Effective root depth (80% of the total) was around 0.35 to 0.40 m.

Index terms: Phaseolus vulgaris L., irrigation, roots, green manure.

INTRODUÇÃO

Os elevados índices de produtividade e a maior rentabilidade agrícola dependem, fundamentalmente, da manutenção da capacidade produtiva dos solos. Assim, a associação de práticas agrícolas, tais como: a calagem, a rotação de culturas e a adubação verde, objetiva proporcionar modificações nos teores de nutrientes, na estrutura, na porosidade, na agregação e na densidade do solo, bem como na infiltração e disponibilidade de água, tendo em vista o adequado crescimento radicular da cultura.

As raízes são imprescindíveis ao processo de absorção de água e nutrientes e os estudos sobre seu crescimento, sua concentração, distribuição e atividade (taxa de crescimento e longevidade) no perfil do solo são fundamentais ao entendimento da produção das culturas (Pearson, 1974; Taylor & Arkin, 1981).

Trabalhos pioneiros sobre a distribuição do sistema radicular do feijoeiro foram realizados em São Paulo, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), por Inforzato & Miyasaka (1963) e Inforzato et al. (1964) e, posteriormente, por Reichardt et al. (1974); todavia, essas determinações não foram suficientemente informativas sobre as condições de solo e de cultivo. Caixeta et al. (1983) e Pires et al. (1991) desenvolveram estudos mais detalhados na cultura irrigada, enquanto outros o fizeram em condições de sequeiro. Com o advento dos equipamentos de irrigação por pivô central, viabilizou-se um novo sistema de produção de grãos, consistindo da exploração intensiva do solo de grandes áreas, com pelo menos duas culturas por ano, turno de rega de dois a cinco dias e aplicações de lâminas reduzidas de água. Nesses sistemas, o conhecimento da profundidade efetiva das raízes é fundamental na realização de projetos e no manejo da irrigação, possibilitando a determinação do armazenamento de água no solo e da profundidade para instalação de sensores de umidade e conseqüente controle das irrigações (Koffler, 1986; Pires et al., 1991).

Em trabalho pioneiro, em nossas condições, Miyasaka et al. (1966a) observaram maior umidade

no solo com incorporação de fitomassa semi-decomposta, sendo o efeito da rotação na velocidade de infiltração básica da água no solo informação importante para o dimensionamento de lâminas de irrigação e estratégias de manejo do solo em áreas irrigadas, visando à redução de problemas de encharcamento. No estado de São Paulo, foi possível estabelecer as bases do zoneamento ecológico para o feijoeiro a partir de trabalhos sobre adubação verde, com obtenção de elevados rendimentos, sobretudo com a incorporação de fitomassa de leguminosas, imediatamente antes da semeadura da cultura (Bulisani et al., 1987; 1992).

A avaliação de atributos físicos do solo, como densidade e resistência à penetração, é auxiliar na determinação do grau de compactação no perfil e do conseqüente efeito no crescimento radicular (Mirreh & Ketcheson, 1972; Taylor, 1974; Schumacher & Smucker, 1981). Nos primeiros estudos clássicos, Veihmeyer & Hendrickson (1948) já relatavam diminuição do crescimento radicular com aumento da densidade, sendo difícil separar a influência de vários fatores agregados no crescimento das raízes.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar as propriedades químicas e físicas mais relacionadas com o manejo do solo, crescimento e profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro irrigado sob pivô central, em rotação com milho e adubos verdes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no campo, no período de maio de 1992 a janeiro de 1996, no Núcleo de Agronomia da Alta Mogiana do Instituto Agronômico-IAC, em Ribeirão Preto (SP), em Latossolo Vermelho eutrófico típico, com classe textural argilosa a 0-0,2 m (57,1% de argila, 28,3 de silte, 11,7 de areia fina e 2,9 de areia grossa) e muito argilosa a 0,2-0,4 m (61% de argila, 25,1 de silte, 11,9 de areia fina e 2 de areia grossa) e a 0,4-0,6 m de profundidade (63,2% de argila, 22,9 de silte, 11,6 de areia fina e 2,3 de areia grossa), sob pivô central.

O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média mensal e média do mês mais quente nunca inferior a 18°C e superior a 22°C, respectivamente, e precipitação pluvial anual de cerca de 1.400 mm.

O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e seis repetições e a distribuição dos tratamentos em cada bloco foi a mesma em todos os anos, iniciando-se pela cultura do feijoeiro, em todos eles, em área total, em maio de 1992.

Os tratamentos constaram das seguintes seqüências de culturas, repetidas a cada doze meses, nos anos agrícolas de 1992/93, 1993/94 e 1994/95: (a) feijão-milho-pousio, (b) feijão-milho-milho, (c) feijão-milho-aveia preta, (d) feijão-milho-*Crotalaria juncea*, (e) feijão-milho-guandu e (f) feijão-milho-mucuna preta. Nesse esquema de tratamentos, os três ciclos das rotações anuais iniciaram com a cultura do feijoeiro, cultivar IAC-Carioca (Carioca-80 SH), de agosto/setembro a dezembro; em seguida, com o milho precoce, híbrido duplo C-701, de dezembro a abril, e, posteriormente, pousio, o milho C-701 e os adubos verdes aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), *Crotalaria juncea* L., cultivar IAC-1, guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), cultivar IAC-Fava Larga e mucuna preta (*Mucuna aterrima*), de abril a agosto.

A parcela de feijoeiro constou de 12 linhas de 30 m espaçadas 0,5 m entre si (180 m²) e área útil de 30 m² e a de milho, 6 linhas de 30 m, espaçadas 1 m entre si. O solo foi preparado convencionalmente, com uma aração (disco em 1992 e 1993 e aiveca em 1994 e 1995) e duas gradagens; correção inicial para saturação por bases de 60% e adubação de acordo com a recomendação para cada cultura em São Paulo (Raij et al., 1996). No feijoeiro, aplicaram-se 16, 56 e 32 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, na forma de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 04-14-08 e 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio (sulfato de amônio), em cobertura, aos 20 dias da sementeira. Nas demais culturas, à exceção do milho, não se fez adubação química. No feijoeiro, realizaram-se tratamentos culturais recomendados, tais como: capinas manuais (2 a 3 durante o ciclo), irrigações e aplicação de fungicidas e inseticidas, quando necessário (Bulisani & Almeida, 1990). No manejo das irrigações, utilizaram-se estações tensiométricas de manômetro de mercúrio, cada uma com seis aparelhos a 0,15; 0,30 e 0,45 m da superfície do solo. O momento de aplicação da água foi definido na leitura dos tensiômetros a 0,15 m, para potencial da água no solo de 0,05 MPa de tensão (Arruda, 1987; Bulisani et al., 1987). Os demais tensiômetros objetivaram o controle da frente de molhamento do solo.

A fitomassa dos adubos verdes foi roçada mecanicamente e incorporada por ocasião do preparo

do solo para o feijoeiro, enquanto as culturas graníferas foram colhidas manualmente.

As variáveis foram avaliadas sempre na cultura do feijoeiro, cuja sementeira se deu em 27 de julho de 1993, 8 de agosto de 1994 e 27 de setembro de 1995. Determinaram-se, anualmente, os teores de nutrientes do solo em amostras compostas coletadas por tratamento, a 0,10 m da linha de sementeira, no florescimento do feijoeiro (estádio R₆), nas profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, e analisadas conforme Raij et al. (1987). O perfil de resistência à penetração (RP) foi avaliado por tratamento, com penetrômetros de impacto, modelo IAA/PLANALSUCAR (Stolf et al., 1983), no início de formação de vagens (estádio R₇), de 1993 a 1995, com oito repetições. Os resultados foram analisados conforme proposto por Stolf et al. (1983).

Em 1993, 1994 e 1995, avaliou-se o sistema radicular, segundo Gottingen (Böhm, 1979), no estádio R₇, utilizando-se trado tipo caneca de bordo serrilhado, com 0,07 m de diâmetro, descrito por Fujiwara et al. (1994). Coletaram-se amostras de solo com raízes a 0,15 m da linha de sementeira, de 0,1 em 0,1 m, até 0,6 m de profundidade, conforme Avilan-Rovira (1975) e Pires et al. (1991), com quatro repetições. Estimou-se a densidade de comprimento das raízes finas pelo método de intersecção de linhas (Tennant, 1975), considerando-se como profundidade efetiva a de concentração de cerca de 80% do total das raízes finas (Noordwijk, 1983) e interpolando-se o somatório dos valores de duas profundidades consecutivas.

A velocidade de infiltração básica da água no solo (VIB) foi avaliada em janeiro de 1996, com quatro repetições por tratamento, em infiltrômetro de nível constante, com anel metálico de 0,2 m de altura e 1,2 m de diâmetro (Bower, 1986), instalado na camada de 0,1 m. A leitura foi feita após cerca de cinco horas, até obtenção de valores constantes. A densidade do solo foi determinada a 0-0,2 m e a 0,2-0,4 m, ao final do experimento, como indicadora do condicionamento do espaço poroso, com quatro repetições por tratamento. O crescimento do sistema radicular foi analisado como parcela subdividida, em que as parcelas corresponderam aos tratamentos e as subparcelas às diferentes profundidades. Todos os dados médios, à exceção daqueles referentes à fertilidade do solo, foram comparados pelo teste de Duncan a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos agrícolas de 1993, 1994 e 1995, o florescimento, em 50% das plantas de feijoeiro, ocorreu, respectivamente, em 27 de setembro, 6 de outubro e 27 de novembro. Nesses mesmos anos, a colheita se deu em 3 e 11 de novembro, em 1993 e 1994, e em 7 de janeiro, em 1996.

Características químicas do solo

Antes da instalação do experimento, realizou-se amostragem de solo na área, na profundidade de 0-0,2 m, em pontos representativos tomados ao acaso, obtendo-se 38 g dm⁻³ de matéria orgânica; pH 5,4; 54 mg dm⁻³ de P (resina); 3,7; 46,8; 12,5; 35,0; 63,5 e 98,6 mmolc dm⁻³, respectivamente, de K, Ca, Mg, H + Al, S e T, além de 64% para saturação por bases (V%).

As características químicas do solo, componentes da sua fertilidade, observadas anualmente em cada tratamento, em 1993, 1994 e 1995, estão relacionadas no quadro 1.

O teor de matéria orgânica a 0-0,2 m, nos três anos e diferentes tratamentos, foi adequado, conforme considerado para solos com textura argilosa e muito argilosa (maior que 30 g dm⁻³) (Malavolta, 1995; Raji et al., 1996). Foi mantido, em média, próximo ao inicialmente determinado (38 g dm⁻³), o que é relevante para o condicionamento do solo e preservação de sua fertilidade (Bulisani et al., 1987). Percebeu-se, em todos anos e tratamentos, decréscimo, possivelmente relacionado com as condições climáticas da região, na época de corte e incorporação da fitomassa das culturas antecedentes ao feijoeiro. A ocorrência de temperaturas médias superiores a 20°C e de chuvas no período favoreceu a rápida mineralização do material orgânico, indicando produção de volume insuficiente de resíduos para compensação das perdas ocorridas (De Maria & Castro, 1993). Houve redução em profundidade, sendo mais acentuada a 0,4-0,6 m e, em 1995, concordando com Castro (1995) e De Maria & Castro (1993). Em média, não houve diferenças entre tratamentos, também relatado por Alves (1992), em estudos com coberturas vegetais de inverno, em plantio direto.

No presente trabalho, o teor de matéria orgânica a 0-0,2 m foi maior com mucuna preta (30,8 a 36,0 g dm⁻³), aveia preta (30,8 a 33,0 g dm⁻³) e pousio (30,7 a 33,0 g dm⁻³), mas a redução percentual no tratamento com mucuna (14,5%) foi superior à dos demais (6,7 e 7% respectivamente).

Os valores de pH em quase todos os tratamentos e profundidades, nos três anos, estiveram no limite da interpretação de acidez alta e média (Raji et al., 1996). A redução ao longo do tempo certamente deveu-se à perda do efeito residual do calcário, aplicado um ano antes do início do experimento. As características relacionadas com a acidez dos solos, pH em CaCl₂ e saturação por bases (V%) são direta e estreitamente correlacionados entre si, para amostras coletadas na camada arável (Raji et al., 1996). Independentemente do tratamento, houve uma tendência para diminuição da acidez em profundidade, com conseqüente aumento nos valores de V%, confirmando a observação anterior. Em relação ao valor de V%, determinado antes do início do experimento (64,3%) e, conforme Raji et al. (1996),

os observados a 0-0,2 m em 1993, foram baixos (26 a 50%), para os tratamentos pousio e aveia preta, e médios (51 a 70%), para os demais. Em 1994, foram médios apenas com a mucuna preta, em todas as profundidades, e baixos, em 1995, em todos. À exceção do pousio, os valores foram crescentes em profundidade. É possível que o maior acúmulo de matéria orgânica a 0-0,2 m e os resíduos da adubação química (fertilizantes nitrogenados) tenham contribuído para maior acidificação ao longo dos anos (Shear & Moschler, 1969; Oliveira, 1996). Também, com a lixiviação do nitrogênio na forma de nitrato, houve remoção de quantidade equivalente de cargas elétricas de cátions (Shear & Moschler, 1969).

Em sua maioria, os teores de fósforo foram médios para todos os tratamentos e profundidades (16 a 40 mg dm⁻³) (Malavolta, 1995; Raji et al., 1996), sendo decrescentes ano a ano e em profundidade, exceto no pousio, na camada de 0-0,2 m de profundidade, e bem maiores na camada superficial, conforme tendência observada nesse tipo de solo (Castro et al., 1987; De Maria & Castro, 1993). Isso se deveu, em parte, à menor mobilidade do elemento no solo, à sua reposição anual na forma de fertilizante químico e à adição superficial dos produtos da mineralização da matéria orgânica (De Maria & Castro, 1993; Oliveira, 1996). A aplicação total de P₂O₅ durante o experimento (224 kg ha⁻¹ para o feijoeiro e 360 kg ha⁻¹ para o milho) representaria cerca de 151 mg kg⁻¹ de fósforo no solo, os quais, entretanto, não foram integralmente aproveitados, graças à exportação do elemento nos grãos e, principalmente, à fração fixada, em especial pelo contacto com os sesquióxidos de ferro e de alumínio, componentes predominantes da fração argila desses Latossolos.

Os teores médios de potássio foram adequados, estando na faixa média (1,6 a 3,0 mmolc dm⁻³) a 0-0,2 e 0,2-0,4 m (Malavolta, 1995; Raji et al., 1996). Foram decrescentes em profundidade e a cada ano, não diferindo muito na comparação numérica dos tratamentos e mostrando-se superiores aos observados por Castro (1995) nesse tipo de solo, sob preparo convencional. Portanto, a quantidade do nutriente adicionada anualmente na adubação química foi adequada, conforme recomendação de Ambrosano et al. (1996). Isso é importante porque o acúmulo de potássio em solos de baixa CTC, como os Latossolos, é dependente de chuvas e da drenagem. Com as irrigações realizadas e as chuvas, esse elemento, de grande mobilidade no perfil, poderia ser lixiviado, como destacado por De Maria & Castro (1993). Castro et al. (1987) não observaram acúmulo em Latossolo argiloso, sob preparo convencional e com adubação acima do recomendável pela análise.

Nos três anos, os teores de cálcio e de magnésio foram sempre altos e adequados (superior a 7 mmolc dm⁻³) (Raji et al., 1996) em todas as profundidades e tratamentos. Com a correção do solo antes da instalação do experimento, houve garantia de suprimento desses nutrientes de acordo com as

Quadro 1. Características químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico típico, em três profundidades, cultivado com feijoeiro em rotação de culturas

Cultura anterior	Profundidade	Matéria orgânica			pH (CaCl ₂)			Fósforo (resina)			Potássio					
		93	94	95	93	94	95	93	94	95	93	94	95			
	m	g dm ⁻³						mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³					
Pousio	0-0,2	33,0	31,7	30,7	5,1	4,9	4,9	36,0	36,8	37,3	2,1	2,5	2,6			
	0,2-0,4	30,0	28,8	24,5	5,1	5,1	5,0	36,0	28,0	22,5	2,3	2,2	1,9			
	0,4-0,6	25,0	18,1	17,0	5,2	5,2	5,2	23,0	19,4	16,0	1,4	1,3	1,1			
Milho	0-0,2	32,0	31,4	30,0	5,1	5,1	5,0	42,0	37,3	35,5	2,4	2,4	2,3			
	0,2-0,4	26,0	25,1	24,7	5,2	5,1	5,1	36,0	34,1	27,2	1,7	1,7	1,8			
	0,4-0,6	23,0	18,5	17,2	5,3	5,3	5,3	22,0	21,8	20,5	1,6	1,4	1,2			
Aveia preta	0-0,2	33,0	32,0	30,8	4,9	4,9	4,9	38,0	37,2	34,6	2,3	2,4	2,6			
	0,2-0,4	26,0	24,9	23,2	5,0	5,0	5,1	20,0	21,4	25,2	1,9	1,8	1,7			
	0,4-0,6	18,0	16,1	15,2	5,3	5,2	5,3	16,0	16,2	17,2	1,1	1,1	1,3			
<i>Crotalaria juncea</i>	0-0,2	30,0	31,0	30,0	5,0	5,0	4,9	51,0	47,7	36,5	3,5	2,9	2,3			
	0,2-0,4	26,0	25,2	24,0	5,1	5,1	5,2	23,0	23,2	27,8	2,3	2,3	1,9			
	0,4-0,6	20,0	19,1	17,8	5,1	5,2	5,5	11,0	15,3	25,2	1,9	1,5	1,5			
Guandu	0-0,2	-(1)	31,5	29,0	-	4,7	4,8	-	36,5	32,5	-	2,5	2,5			
	0,2-0,4	-	26,8	25,5	-	4,9	5,0	-	21,9	25,5	-	1,9	2,0			
	0,4-0,6	-	18,4	17,5	-	5,2	5,3	-	17,0	17,2	-	1,3	1,3			
Mucuna preta	0-0,2	36,0	34,2	30,8	5,0	5,0	5,0	38,0	37,8	36,3	2,5	2,6	2,5			
	0,2-0,4	25,0	24,8	25,0	5,3	5,1	5,1	20,0	21,7	24,5	1,7	1,8	2,1			
	0,4-0,6	19,0	18,3	17,3	5,4	5,4	5,4	14,0	16,0	16,8	1,1	1,4	1,5			
		Cálcio			Magnésio			H + Al			CTC			V		
		93	94	95	93	94	95	93	94	95	93	94	95	93	94	95
		mmolc dm ⁻³												%		
Pousio	0-0,2	28,0	29,6	32,8	9,0	8,9	9,0	43,0	42,5	44,3	82,1	83,5	50,2	48	49	50
	0,2-0,4	31,0	28,9	28,8	10,0	9,3	9,2	43,0	38,9	37,8	86,0	79,3	51,3	50	51	51
	0,4-0,6	30,0	24,0	21,7	8,0	8,2	8,2	34,0	33,3	32,2	73,0	66,8	49,0	54	50	49
Milho	0-0,2	33,0	32,6	32,0	10,0	9,5	8,3	43,0	43,9	44,2	88,0	88,4	49,0	51	50	49
	0,2-0,4	29,0	30,0	31,0	9,0	9,1	8,8	34,0	37,5	38,8	74,0	78,3	51,8	54	52	52
	0,4-0,6	26,0	26,5	27,7	9,0	9,2	9,7	34,0	33,4	30,2	71,6	70,5	55,7	51	53	56
Aveia preta	0-0,2	34,0	32,3	31,7	9,0	8,8	8,0	52,0	49,8	46,5	97,0	93,3	47,3	47	46	47
	0,2-0,4	27,0	29,5	30,2	8,0	8,6	8,7	43,0	41,7	39,2	80,0	81,6	51,0	46	48	51
	0,4-0,6	27,0	26,7	25,5	7,0	8,3	8,5	31,0	30,9	30,7	66,0	67,0	53,7	53	53	54
<i>Crotalaria juncea</i>	0-0,2	39,0	37,1	32,0	10,0	9,6	8,5	47,0	45,5	43,5	99,0	95,1	49,3	53	52	49
	0,2-0,4	33,0	33,3	32,3	9,0	9,1	9,7	43,0	37,9	36,7	87,0	82,6	54,0	51	54	54
	0,4-0,6	25,0	30,0	35,2	7,0	8,0	9,2	34,0	29,8	26,8	68,0	69,3	61,2	50	56	61
Guandu	0-0,2	-	30,2	28,7	-	7,7	7,3	-	48,6	47,7	-	89,0	44,5	-	45	45
	0,2-0,4	-	29,8	31,5	-	8,1	8,5	-	41,0	40,8	-	80,8	50,3	-	49	50
	0,4-0,6	-	28,4	28,3	-	7,6	7,3	-	31,8	31,2	-	69,1	53,5	-	53	54
Mucuna Preta	0-0,2	37,0	35,4	34,3	10,0	9,0	8,7	47,0	46,6	45,7	97,0	93,6	49,8	51	50	50
	0,2-0,4	34,0	34,2	34,2	12,0	9,4	9,5	34,0	34,1	36,7	82,0	79,5	55,5	58	57	56
	0,4-0,6	26,0	29,3	29,8	8,0	7,9	9,0	31,0	29,5	28,0	66,1	68,1	58,5	53	56	59

(1) Não se realizou amostragem no tratamento com guandu em 1993.

necessidades do feijoeiro. Os níveis médios observados para o magnésio foram bem superiores ao estabelecido em $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, por Ambrosano et al. (1996). Ao longo dos anos, houve pequena redução nos teores de cálcio a 0-0,2 m, graças à continuada remoção desse elemento pelos grãos das culturas. Como o solo do estudo tem boas condições naturais de drenagem, obteve-se correção em profundidade, já que os níveis desses elementos nas camadas menos superficiais estavam adequados e os valores de pH e V% eram maiores (Quadro 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Muzilli (1981). No presente estudo, a relação cálcio-magnésio manteve-se próxima da relação 4:1, considerada ideal para a cultura do feijoeiro, notadamente nos tratamentos com leguminosas, nos três anos de avaliação.

De maneira geral, as características químicas do solo não foram impeditivas ao cultivo do feijoeiro. Entretanto, considerando a acidez média e até alta (pH em CaCl_2 , respectivamente, entre 5,1 e 5,5 e 4,4 e 5,0) observada na camada arável (0-0,2 m), independentemente do tratamento utilizado, bem como a faixa de pH entre 6,0 e 6,5, tida como ideal para obtenção de máxima produtividade dessa cultura, não houve condições para expressão máxima do potencial produtivo dessa leguminosa.

Características físicas do solo

Os valores de velocidade de infiltração básica da água no solo (VIB) estão no quadro 2. Em relação ao pousio, destacaram-se, em ordem decrescente, aqueles dos tratamentos com mucuna preta, crotalaria e milho, contrariando estudos de Sidiras & Roth (1984), nos quais, entretanto, não se realizou a incorporação dos restos vegetais. O menor valor (aveia preta: 11,0 mm/h) só não diferiu do pousio, sendo 41,8% inferior ao maior relatado (mucuna preta: 18,9 mm/h). Além da incorporação de restos de

cultura neste estudo, a quantidade média de fitomassa verde de aveia preta (14 t ha^{-1}) foi menor que a de mucuna preta (19 t ha^{-1}), crotalaria (20 t ha^{-1}) e milho (23 t ha^{-1}). Provavelmente, ocorreram efeitos físicos positivos da incorporação dessa fitomassa, imediatamente antes da semeadura do feijoeiro, destacando-se a melhoria da aeração, entre outros compilados por Bulisani et al. (1992). Os efeitos relacionam-se, sobretudo, com o aumento do volume do solo e com o aumento da porosidade em favor da permeabilidade e melhoria da estrutura (Bulisani et al., 1992).

Para os valores da densidade, não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos por profundidade, tampouco entre médias de profundidades e interação tratamento e profundidade (Quadro 2).

Embora não-significativo, em média, houve aumento dos valores de 0-0,2 para 0,2-0,4 m, particularmente no pousio e com aveia preta, caracterizando uma situação de compactação subsuperficial, abaixo da camada mobilizada, pela ação de implementos agrícolas (arado e grade) e trânsito de máquinas. Este é problema sério em áreas irrigadas e cultivadas com mais de uma cultura por ano (Pires et al., 1991), decorrente da redução dos fluxos de ar, água e dos espaços vazios e aumento da resistência mecânica dos solos, sendo prejudicial ao crescimento do sistema radicular.

Os resultados da avaliação da compactação do solo em 1993, 1994 e 1995 estão, respectivamente, nas figuras 1, 2 e 3.

Medir a resistência à penetração (RP) auxilia a avaliação da resistência ao crescimento da raiz, representando a combinação de características físicas como densidade e umidade (Mirreh & Ketcheson, 1972). Observa-se uma camada mais compactada em todas as determinações de RP no

Quadro 2. Infiltração básica de água e densidade de um Latossolo Vermelho eutroférico típico, após cultivo do feijoeiro, cultivar IAC-Carioca, em rotação com milho/culturas graníferas e adubos verdes

Característica avaliada	Profundidade	Cultura anterior						Média
		Pousio	Milho	Aveia preta	<i>Crotalaria juncea</i>	Guandu	Mucuna preta	
	m							
Infiltração (mm/h) C.V. (11%)		13,6 CD	16,6 AB	11,0 D	18,0 AB	15,3 BC	18,9 A	15,6
Densidade do solo (g cm^{-3})	0-0,2	1,28 A	1,40 A	1,30 A	1,31 A	1,34 A	1,31 A	1,33 a
	0,2-0,4	1,39 A	1,40 A	1,42 A	1,34 A	1,31 A	1,39 A	1,37 a
C.V. para profundidade: 5,2%; C.V. para tratamento: 9,9%								

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

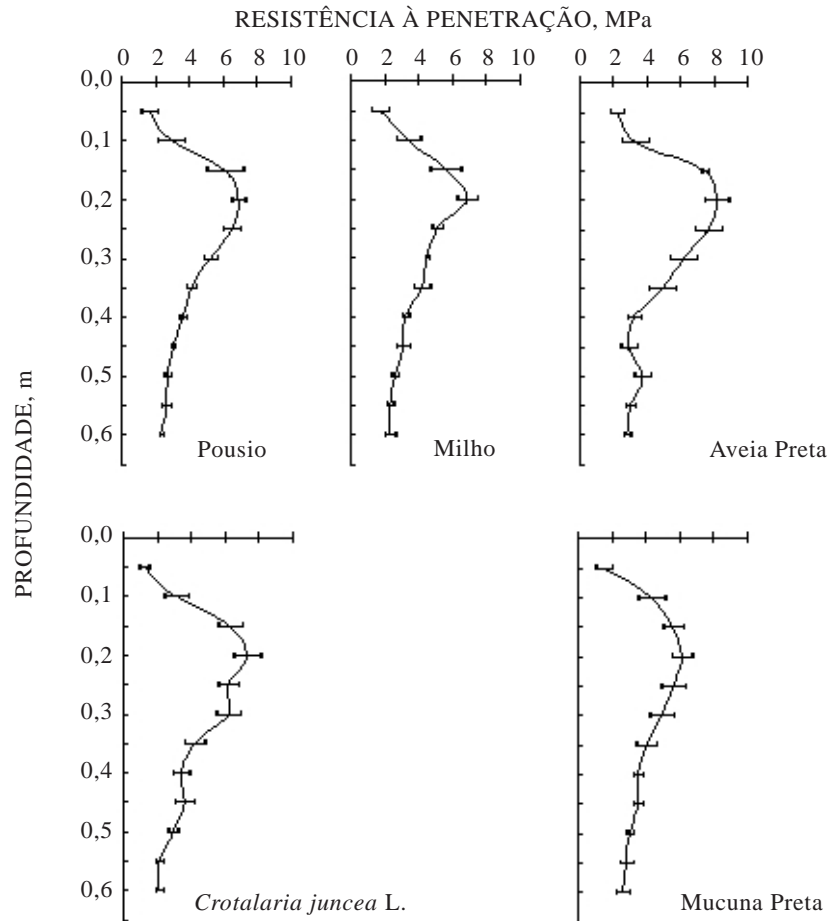


Figura 1. Valores médios de resistência à penetração ± erro-padrão da média, em MPa, com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, em diferentes profundidades, em Latossolo Vermelho eutroférico típico cultivado com feijoeiro e após rotação com culturas graníferas e adubos verdes.

perfil, com aumento crescente dos valores em profundidade, até determinada camada, e posterior redução gradual. Em 1993, os maiores valores, independentemente do tratamento, localizaram-se de 0,15 a 0,3 m. Tais valores localizaram-se mais abaixo nos anos seguintes, situando-se em 0,3-0,4 m, em 1994, e em 0,25-0,35 m, em 1995. Possivelmente, houve efeito benéfico do uso do arado de aiveca, corroborando os resultados obtidos em feijoeiro por Seguy et al. (1984) e Silva et al. (1996).

Como o solo deste estudo apresenta composição granulométrica uniforme nos horizontes superficiais, as diferenças observadas podem ser atribuídas à compactação do solo e não a um possível gradiente textural. Verifica-se um gradiente acentuado de RP, da camada de 0-0,05 m para a de maior valor de RP, em cada tratamento e ano. Este é muito importante para o crescimento/desenvolvimento radicular de uma cultura (Taylor, 1974), conforme estudos sobre raízes de soja em solo argiloso (De Maria et al., 1993). As avaliações com penetrômetro devem ser

comparativas e não uma medida absoluta das forças exercidas sobre as raízes em sua penetração no solo. Com a decomposição de outras raízes e material orgânico fresco, pode ocorrer uma orientação do crescimento radicular para pontos de menor resistência do solo. Apesar disso, essa medição está bem correlacionada com o desenvolvimento radicular (Taylor, 1974), como observado em feijoeiro (Schumacher & Smucker, 1981).

Crescimento do sistema radicular

Pelos resultados da densidade de comprimento de raízes finas (Quadro 3), notou-se maior concentração destas nas camadas superficiais do solo, com diminuição gradual em profundidade, independentemente do ano e culturas antecedentes, como observado em feijoeiro irrigado (Pires et al., 1991; Guimarães et al., 1996).

Observaram-se diferenças significativas entre os valores de densidade de comprimento de raízes nas diferentes profundidades nos três anos, entre os

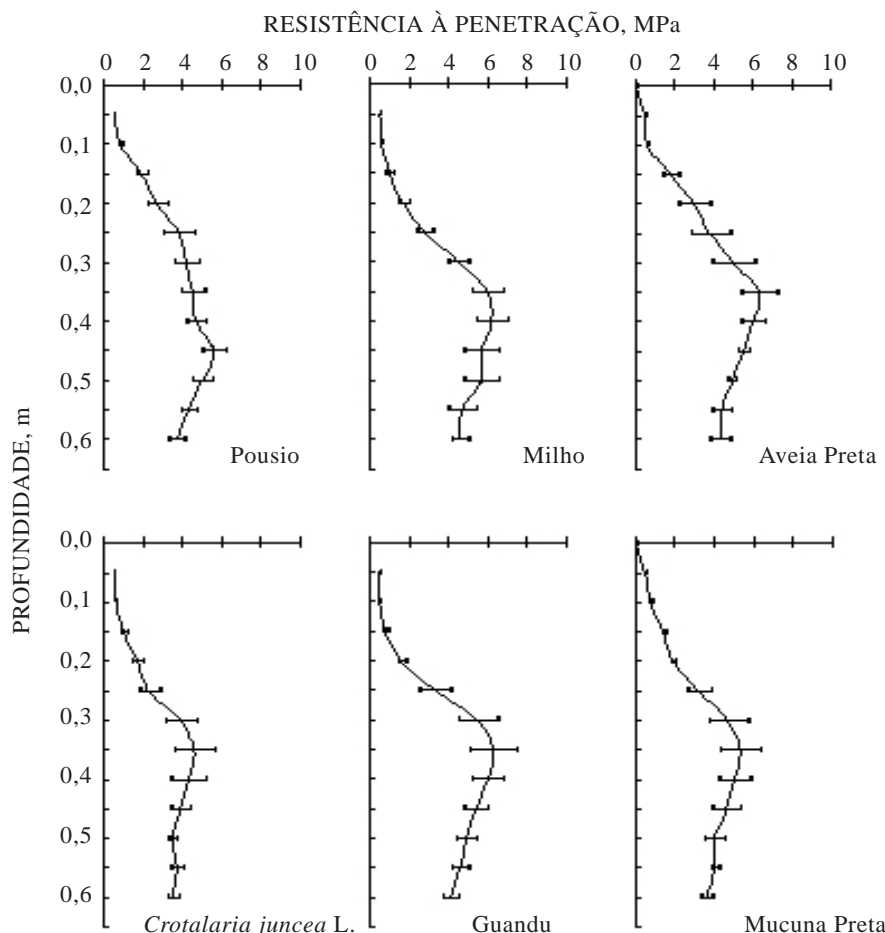


Figura 2. Valores médios de resistência à penetração \pm erro-padrão da média, em MPa, com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, em diferentes profundidades, em Latossolo Vermelho eutroférico típico cultivado com feijoeiro e após rotação com culturas graníferas e adubos verdes.

tratamentos em 1993, mas não entre os tratamentos em 1994 e 1995. Também não houve efeito da interação tratamento e profundidade nos três anos. Quando o feijoeiro foi antecedido pela mucuna preta em 1993, o valor total foi o menor, sendo significativamente inferior aos demais, corroborando resultados de Abboud & Duque (1986) sobre aparente efeito alelopático da mucuna preta sobre o feijoeiro.

A partir de 1994, não se observou esse possível efeito, provavelmente pelas melhores condições de umidade do solo no período entre a incorporação da fitomassa da mucuna e o início do desenvolvimento do feijoeiro, concordando com aqueles autores. Nos três anos, os valores individuais por profundidade e os totais por tratamento foram maiores em 1994, seguidos pelos de 1995 e 1993. Em 1994, foram cerca de duas vezes e meia maiores, em média, do que os do ano anterior, quando a precipitação pluvial foi bem inferior à normal e o fornecimento de água se deu sobretudo por irrigação, estando de acordo com

a necessidade das plantas. É provável que a umidade do solo tenha sido mais favorável ao enraizamento, em termos quantitativos. Ressalte-se que, em 1994 e 1995, utilizou-se o arado de aiveca no preparo do solo, o qual proporciona melhor qualidade do leito de semeadura em relação ao de disco (Silva et al., 1996), contribuindo para a obtenção de menores valores de densidade do solo (Seguy et al., 1984), com conseqüentes efeitos positivos ao enraizamento das plantas.

As diferenças nos totais de raízes, sua redução em profundidade e algumas diferenças entre tratamentos parecem estar mais associadas às condições ou restrições físicas do solo do que de fertilidade. Embora não fosse significativo, o valor médio da densidade do solo foi aumentado de $1,33 \text{ g cm}^{-3}$ a 0-0,2 m para $1,37 \text{ g cm}^{-3}$ a 0,2-0,4 m (Quadro 2). Em relação à RP, notou-se camada mais adensada a 0,15-0,3 m a 0,3-0,40 m e a 0,25-0,35 m de profundidade, respectivamente, em 1993, 1994 e 1995 (Figuras 1, 2 e 3). Isso pode ter colaborado para

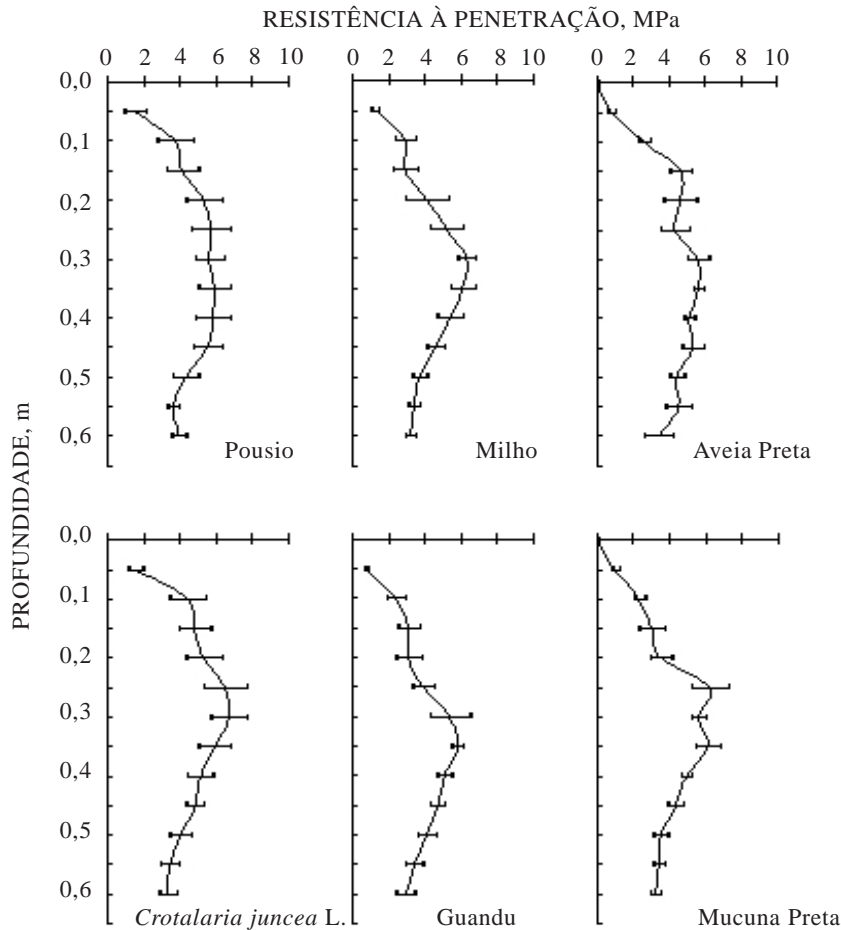


Figura 3. Valores médios de resistência à penetração \pm erro-padrão da média, em MPa, com penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, em diferentes profundidades, em Latossolo Vermelho eutroférico típico cultivado com feijoeiro e após rotação com culturas graníferas e adubos verdes.

a redução, ainda que pequena, do crescimento das raízes, já que, pelos resultados das análises (granulométrica e química), não houve indicação de possível restrição ao seu crescimento. Até os teores de cálcio, elemento promotor do crescimento radicular, foram sempre altos e adequados (Quadro 1), concordando com observações de Ritchey et al. (1983).

A tendência de distribuição de raízes ao longo do perfil, de modo geral, está associada aos valores de densidade do solo (Quadro 2) e de RP (Figuras 1, 2 e 3), dentre outros fatores, como os genéticos, corroborando estudos pioneiros de Veihmeyer & Hendrickson (1948).

Neste estudo, observou-se crescimento radicular abaixo da camada mais adensada, talvez associado à boa disponibilidade de água, uma vez que o feijoeiro foi irrigado quando necessário. Segundo Castro (1995), a resistência à penetração mostrou-se reduzida na presença de água no perfil e a

penetração das raízes em estruturas compactadas foi facilitada. Também os valores de pH foram crescentes em profundidade, possibilitando a manutenção de condições ainda favoráveis ao enraizamento, concordando com os resultados de Pearson (1974), em subsolo moderadamente ácido.

Como efeito das rotações, ao longo dos anos, não houve um tratamento em particular favorável ao crescimento das raízes do feijoeiro até 0,6 m, embora Miyasaka et al. (1966b) tenham observado maior quantidade de raízes de feijoeiro cultivado após leguminosas em relação às gramíneas, até 0,2 m, em estudos de incorporação de matéria orgânica na sucessão de culturas. Apesar de não-significativos, os maiores resultados do estudo foram observados com crotalária, mucuna preta e milho. Coincidentemente, a quantidade média de fitomassa verde produzida por essas espécies (20, 19 e 23 t ha⁻¹, respectivamente) foi sempre superior à dos demais tratamentos, em comparação à da vegetação

Quadro 3. Densidade de comprimento e o respectivo erro-padrão de raízes finas de feijoeiro, cultivar IAC-Carioca, no estádio R₇, após rotação com milho/culturas graníferas e adubos verdes, em diferentes profundidades

Profundidade	Cultura anterior						Média
	Pousio	Milho	Aveia preta	<i>Crotalaria juncea</i>	Guandu	Mucuna preta	
m	cm cm ⁻³						
1993							
0-0,1	0,16 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,04	0,21 ± 0,04	-	0,11 ± 0,01	0,162 a
0,1-0,2	0,14 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,14 ± 0,09	-	0,09 ± 0,01	0,127 b
0,2-0,3	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,09 ± 0,03	-	0,07 ± 0,01	0,100 c
0,3-0,4	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,02	-	0,06 ± 0,01	0,082 cd
0,4-0,5	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,01	-	0,04 ± 0,03	0,072 cd
0,5-0,6	0,05 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,02	-	0,03 ± 0,01	0,056 d
Total	0,64 A	0,61 A	0,70 A	0,64 A	-	0,40 B	-
C.V. para tratamento: 19,0% e C.V. para profundidade: 45,7%							
1994							
0-0,1	0,45 ± 0,09	0,48 ± 0,11	0,49 ± 0,05	0,54 ± 0,11	0,41 ± 0,02	0,72 ± 0,12	0,514 a
0,1-0,2	0,35 ± 0,09	0,36 ± 0,05	0,34 ± 0,02	0,40 ± 0,07	0,40 ± 0,07	0,33 ± 0,05	0,365 b
0,2-0,3	0,22 ± 0,04	0,28 ± 0,05	0,28 ± 0,02	0,26 ± 0,05	0,24 ± 0,02	0,29 ± 0,01	0,261 c
0,3-0,4	0,18 ± 0,04	0,24 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,13 ± 0,09	0,25 ± 0,01	0,189 d
0,4-0,5	0,17 ± 0,09	0,12 ± 0,05	0,09 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,11 ± 0,02	0,123 e
0,5-0,6	0,09 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,071 e
Total	1,46 A	1,60 A	1,38 A	1,65 A	1,31 A	1,74 A	-
C.V. para tratamento: 25,2% e C.V. para profundidade: 36,9%							
1995							
0-0,1	0,23 ± 0,03	0,34 ± 0,13	0,29 ± 0,06	0,38 ± 0,12	0,28 ± 0,04	0,34 ± 0,08	0,310 a
0,1-0,2	0,19 ± 0,06	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,04	0,17 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,177 b
0,2-0,3	0,14 ± 0,04	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,04	0,147 bc
0,3-0,4	0,13 ± 0,05	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,139 bc
0,4-0,5	0,10 ± 0,04	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,111 cd
0,5-0,6	0,06 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,04	0,083 d
Total	0,85 A	0,98 A	0,95 A	1,07 A	0,92 A	1,02 A	-
C.V. para tratamento: 31,9% e C.V. para profundidade: 48,6%							

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, e maiúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

espontânea no pousio (5 t ha⁻¹). Os valores dos coeficientes de variação foram altos, particularmente entre profundidades amostradas (Quadro 3), o que já era esperado em razão da própria morfologia do sistema radicular do feijoeiro e, segundo Guimarães et al. (1997), do método de coleta de raízes com trado (grande variabilidade espacial).

Profundidade efetiva

Para fins de manejo de irrigação do feijoeiro, nesse tipo de solo, parece adequado considerar a profundidade efetiva do sistema radicular como sendo de 0,35 a 0,4 m, onde se concentram aproximadamente 80% das raízes finas (Quadro 4).

A partir desta, há uma redução acentuada na distribuição percentual das raízes.

De maneira geral, os valores obtidos foram maiores do que os relatados na literatura para o estado de São Paulo, sendo superiores aos 0,2 m, inicialmente observados em feijoeiro por Inforzatto & Miyasaka (1963), em distintos solos (concentração de 84% e 97% das raízes). São próximos dos 0,3 m, relatados por Avilan-Rovira (1975) e Pires et al. (1991), para os cultivares Carioca e Carioca-80, usando trado na coleta, diferindo ainda dos obtidos por Caixeta et al. (1983). À exceção do observado por Pires et al. (1991), as diferenças podem ser atribuídas ao método usado (coleta com trado tipo

Quadro 4. Profundidade efetiva (80%) do sistema radicular do feijoeiro irrigado, em Latossolo Vermelho eutroférico típico, após rotação com culturas graníferas e adubos verdes

Ano agrícola	Cultura anterior					
	Pousio	Milho	Aveia preta	<i>Crotalaria juncea</i>	Guandu	Mucuna preta
	cm					
1993	40,2	47,3	40,0	39,0	-	41,0
1994	38,7	36,7	29,8	36,0	29,9	32,0
1995	39,3	40,4	41,0	41,0	39,7	39,5
Média	39,4	41,5	36,9	38,7	34,8	37,3

caneca e avaliação de raízes finas). Em Inforzatto & Miyasaka (1963), não há qualquer informação sobre os teores de nutrientes do solo ou de suas características físicas. A determinação da distribuição de raízes por peso, adotada nos demais estudos, pode não ser a mais adequada do ponto de vista fisiológico da absorção (Böhm, 1979). A dificuldade na medição da distribuição das raízes ativas ou finas é um obstáculo aos estudos dos sistemas radiculares em campo e a determinação de raízes com diâmetro inferior a 1 mm é arbitrária, sendo adotada por outros autores em feijoeiro (Pires et al., 1991), dada a abundância de pêlos radiculares, com função de absorção de água e nutrientes e de serem superfície de ativa troca iônica.

Apesar das interações das características avaliadas, aparentemente os resultados de densidade de comprimento de raízes do feijoeiro estão mais relacionados com a RP (situação de impedimento físico no perfil) do que com as características químicas do solo. Como efeito prático, pode-se situar a profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro entre 0,35 e 0,4 m, dependendo da prática de manejo do solo e da rotação de culturas. Cabe lembrar que, em condições de campo, nem sempre todas as partes de um sistema radicular estão expostas ao mesmo grau de compactação, podendo haver crescimento compensatório destas. A adição continuada de matéria orgânica, que pode ser por meio da rotação de culturas com incorporação de resíduos vegetais, possibilita a redução da RP de um solo quando compactado.

CONCLUSÕES

1. A rotação de culturas do feijoeiro irrigado com milho e adubos verdes favoreceu a redução da resistência do solo à penetração na camada arável,

garantiu a manutenção do teor de matéria orgânica do solo, bem como possibilitou a redução da acidez e o aumento do índice de saturação por bases (V%) em profundidade em relação ao valor inicial.

2. A velocidade de infiltração básica da água no solo foi favorecida pela inclusão da mucuna preta, da crotalaria júncea e do milho, no período não-convencional de cultivo no outono-inverno, na seqüência feijoeiro irrigado/milho de ciclo precoce.

3. A profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro irrigado, cultivar IAC-Carioca, em rotação com pousio, milho e adubos verdes, em Latossolo Roxo, foi de 0,35 a 0,4 m, onde se encontraram aproximadamente 80% de raízes finas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos aos funcionários de apoio do Instituto Agronômico de Campinas (IAC): Nair Antônia dos Santos, Osvaldo Gentilin Júnior, Carmelina Andreo Fazani e Leonardo Rosa Teixeira, pela colaboração nos trabalhos de campo e laboratório; ao Eng^o-Agr^o Wagner Rodrigues dos Santos, pela confecção dos gráficos, e a Sementes Cargill, pela doação das sementes de milho.

LITERATURA CITADA

ABBOUD, A.C.S. & DUQUE, F.F. Efeito de materiais orgânicos e vermiculita sobre a seqüência milho-feijão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:227-236, 1986.

ALVES, M.C. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1992. 173p. (Tese de Doutorado)

- AMBROSANO, E.J.; WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A. & CANTARELLA, H. Feijão. In: RALJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. p.194-195. (Boletim Técnico, 100)
- ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: VIÉGAS, G.P., ed. SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.177-199.
- AVILAN-ROVIRA, L.A.A. Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Carioca. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1975. 86p. (Tese de Doutorado)
- BÖHM, W. Methods of studying root systems. Berlin, Springer-Verlag, 1979. 189p.
- BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1 - Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. 1188p.
- BULISANI, E.A. & ALMEIDA, L.D'A. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: JORGE, J.A.; LOURENÇÃO, A.L. & ARANHA, C., eds. Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo. 5.ed. Campinas, 1990. p.94-95.
- BULISANI, E. A; ALMEIDA, L.D'A & ROSTON, A.J. A cultura do feijoeiro no Estado de São Paulo. In: BULISANI, E.A, coord. Feijão: fatores de produção e qualidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.29-88.
- BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.B. & MIYASAKA, S. Adubação verde em São Paulo. In: COSTA, M.B.B., coord. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1992. p.59-81.
- CAIXETA, T.J.; PURCINO, J.R.C. & SILVA, L. Irrigação de algumas culturas. Inf. Agropec., 9:65-76, 1983.
- CASTRO, O.M. Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995. 174p. (Tese de Doutorado)
- CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. & CANTARELLA, H. Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 23p. (Boletim científico, 11)
- DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. R. Bras. Ci. Solo, 17:471-477, 1993.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos e desenvolvimento radicular de soja em solo argiloso sob diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. Resumos. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.3, p.41-42.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M. & SAKAI, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, Instituto Agrônomo, 1994. 9p. (Boletim técnico, 153)
- GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.C.A.; De MARIA, I.C.; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S.J. & CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: CRUVINEL, P.E.; CRESTANA, S.; MARTIN NETO, L.; COLNAGO, L.A. & MATTOSO, L.H.C., coods. SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1., São Carlos, 1996. Anais. São Carlos, CNPDIA/EMBRAPA, 1997. p.295-304.
- INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, 22:477-481, 1963.
- INFORZATO, R.; GUIMARÃES, G. & BORGONOV, M. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz e do feijoeiro em duas séries de solo do Vale do Paraíba. Bragantia, 23:365-369, 1964.
- KOFFLER, N.F. A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no cerrado. Inf. Agron., 33:1-4, 1986.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 1995. 63p.
- MIRREH, H.F. & KETCHESON, J.W. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. Can. J. Soil Sci., 53:383-388, 1972.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, A.P.; INFORZATO, R. & IGUE, T. Efeitos da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta na cultura do feijoeiro. Bragantia, 25:349-363, 1966a.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; NERY, C; CAMPANA, M. & SORDI, G. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijão "da seca" em terra roxa misturada. Bragantia, 25:277-289, 1966b.
- MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: PLANTIO direto no Estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1981. p.43-53. (Circular IAPAR, 23)
- NOORDWIJK, M. van. Root ecology and its practical application. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM GUMPENSTEIN, Irdning, 1982. Proceedings. Irdning, Bundesanstalt Gumpenstein, 1983. p.207-226.
- OLIVEIRA, E. Efeito da *Crotalaria juncea* Linn. na eficiência agrônômica, econômica e energética de culturas em sucessão sob plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1996. 95p. (Tese de Doutorado)
- PEARSON, R.W. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.247-270.
- PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E. & BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. Bragantia, 50:153-162, 1991.

- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, E.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química de solos para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1996. p.1-13.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & SANTOS, J.M. An analysis of soil-water movement in the field: II. Water balance in a snap bean crop. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1974. 19p. (Boletim Científico, 22)
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUSA, D.M.G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. R. Bras. Ci. Solo, 7:269-275, 1983.
- SCHUMACHER, T.E. & SMUCKER, A.J.M. Mechanical impedance effects on oxygen uptake and porosity of drybean roots. Agron. J., 70:1073-1076, 1981.
- SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J.G.; BLUMENSCHNEIN, F.N. & DALL'ÁCQUA, F.M. Técnicas de preparo do solo. Goiânia, Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão, 1984. 26p.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no tillage and conventional tilled methods. Agron. J., 61:524-526, 1969.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Medições de infiltração com infiltrômetros e um simulador de chuvas em Latossolo Roxo distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e três sistemas de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 5., Porto Alegre, 1984. Programa. Porto Alegre, 1984. p.49.
- SILVA, J.T.A.; GONZAGA, V. & SATURNINO, H.M. Efeito da incorporação de leguminosas sobre a produção do feijoeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Manaus, 1996. Resumos expandidos. Manaus, Universidade do Amazonas, 1996. v.1. p.30-31.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto-modelo IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para o seu uso). STAB. Açúc. Álcool Subprod., 1:18-23, 1983.
- TAYLOR, H.M. Root behaviour as affected by soil structure and strenght. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 271-291.
- TAYLOR, H.M. & ARKIN, G.F. Root zone modification: fundamentals and alternatives. In: ARKIN, G.F. & TAYLOR, H.M., eds. Modifying the root environment to reduce crop stress. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.1-17.
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root lenght. J. Ecol., 63:995-1001, 1975.
- VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. Soil Sci., 65:487-493, 1948.

