

PRINCIPAIS FATORES QUE INTERFEREM NO CRESCIMENTO RADICULAR DAS CULTURAS ANUAIS, COM ÊNFASE NO POTÁSSIO

João Kluthcouski¹
Luís Fernando Stone¹

INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, fala-se muito em agricultura de precisão, em que são utilizados equipamentos caros, orientados por satélite. Na realidade, o produtor brasileiro está necessitando mais de precisão na agricultura. Antes de corrigir/homogeneizar a fertilidade do solo em poucos metros quadrados de uma gleba ou optar pelo uso da soja transgênica, é necessário: corrigir a acidez do perfil do solo, com quantidade e qualidade dos corretivos e da colocação corretas; descompactar o solo com equipamento adequado e na profundidade correta; utilizar semente “sadia” da cultivar mais adaptada e produtiva; utilizar arranjos espaciais das plantas corretos; utilizar população ideal das plantas; semear as diferentes espécies vegetais na época mais adequada; adubar equilibradamente; posicionar o adubo corretamente em relação às sementes e à superfície do solo; irrigar corretamente; utilizar manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas (MIP); evitar perdas na colheita; utilizar sistemas agrícolas que respeitem o produtor e o ambiente, tais como o Sistema Plantio Direto (SPD) e a Integração Lavoura-Pecuária; dentre muitos outros. Observa-se que a maioria dessas preocupações não refletem no aumento do custo da produção da lavoura, trata-se apenas de adequar a tecnologia “capricho”.

Neste documento, dois aspectos importantes, na nossa ótica, são discutidos: os possíveis efeitos danosos da adubação, principalmente a potássica, posicionada incorretamente em relação à superfície e às sementes, e alguns fatores que interferem no bom desenvolvimento da raiz, a parte mais importante das plantas.

A DISPOSIÇÃO DOS FERTILIZANTES

Os fertilizantes minerais são sais e, por isso, podem causar injúrias ao embrião e à plântula recém-emergida, graças ao efeito osmótico, e até mesmo alterar o comportamento das raízes das plantas.

Em 1957, Knott já alertava para o perigo de se cometer erro fatal para as plantas devido à salinização da zona radicular provocada por esses nutrientes, em especial o K (Tabela 1).

No início da década de 60, VIEIRA & GOMES (1961) demonstraram que alguns fertilizantes potássicos e fosfatados podem causar injúrias à germinação de sementes do feijoeiro comum (Tabela 2), enfatizando que o contato direto de sementes de feijão com 300 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 140 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio reduziu o estande de plantas em 44% e 58%, respectivamente, e na aplicação da mistura de ambos a redução foi de 74%.

Tabela 1. Efeito salino dos principais fertilizantes e corretivos utilizados para a produção das culturas anuais.

Fertilizante	Índice salino
Nitrato de sódio	100,0
Amônia anidra	47,1
Nitrato de amônio	104,7
Fosfato monoamônico	34,2
Calcário calcítico	4,7
Nitrato de cálcio	52,5
Fosfato diamônico	29,9
Calcário dolomítico	0,8
Cloreto de potássio	116,3
Nitrato de potássio	73,6
Sulfato de potássio	46,1
Superfosfato simples	7,8
Superfosfato triplo	10,1
Uréia	75,4
Sulfato de amônio	69,0

Fonte: KNOTT (1957).

Tabela 2. Estandes médios de plantas, em porcentagem, em ensaio de adubação, em Muriaé, MG, atribuindo-se valor 100 para o tratamento sem adubo.

Doses de superfosfato simples (kg ha ⁻¹)	Doses de cloreto de potássio (kg ha ⁻¹)		
	0	70	140
0	100	65	42
300	56	43	35
600	41	33	26

Fonte: VIEIRA & GOMES (1961).

Ao pesquisarem, em 1982, o efeito da mistura N-P-K, KLUTHCOUSKI et al. (1982) concluíram que, com a alteração na profundidade usual de adubação – a qual, na prática, tem sido próxima das sementes – é possível aumentar o rendimento do feijoeiro comum (Tabela 3). Neste contexto, aumentos no rendimento de grãos, devidos à incorporação mais profunda do fertilizante, também foram registrados na cultura de feijão (THUNG et al., 1982) e milho (BARBER, 1985; ALONÇO & FERREIRA, 1992). Para MALLARINO (1997), a adubação potássica mais profunda é parti-

¹ Engenheiro-agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mails: joaok@cnpaf.embrapa.br e stone@cnpaf.embrapa.br.

cularmente importante nos anos em que ocorre deficiência hídrica, provavelmente por esta fonte apresentar alto índice salino. Ainda segundo MALLARINO (1997), o acúmulo superficial de nutrientes pode resultar em baixa absorção de P e K e, por consequência, em baixos rendimentos de colheita, especialmente quando a camada superficial do solo estiver seca.

Tabela 3. Resultados médios da produtividade do feijoeiro, semeado na época seca, em março de 1979 e 1980, utilizando-se a adubação de 20-80-30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

Profundidade de adubação	1979		1980
	Sequeiro ¹	Sequeiro ²	Irrigado ³
	----- (kg ha ⁻¹) -----		
Convencional	570	536	1.156
15 cm	760	933	1.304
20 cm	795	848	1.203

¹ Média de quatro cultivares/linhagens: Venezuela 350, Piratã, Porillo Sintático e PI 318.818.

² Cultivar Venezuela 350.

³ Cultivar Venezuela 350, com irrigação suplementar.

Fonte: KLUTHCOUSKI et al. (1982).

Em 1982, quando observaram que a disposição mais profunda dos fertilizantes pode interferir, positiva ou negativamente, no desenvolvimento das raízes do feijoeiro comum, GUIMARÃES et al. (1982) concluíram que a aplicação de fertilizantes na camada mais profunda do solo e com maior disponibilidade de água induz o crescimento radicular do feijoeiro do período das “secas”, com semeadura em janeiro/fevereiro, comparativamente à aplicação na camada superficial do solo com baixa disponibilidade de água (Figura 1), pois, neste ambiente/época de cultivo, a baixa disponibilidade de água prejudica a absorção de nutrientes e retarda o desenvolvimento da planta como um todo. Por outro lado, nesse estudo, o mesmo não foi observado durante o período com chuvas distribuídas mais uniformemente, sem ocorrência de “veranicos”, com semeadura em outubro/novembro (Figura 2), quando o solo está adequadamente suprido com água, tanto na sua camada superficial como nas mais profundas, e o crescimento radicular é adequado em ambos os sistemas de aplicação de fertilizantes.

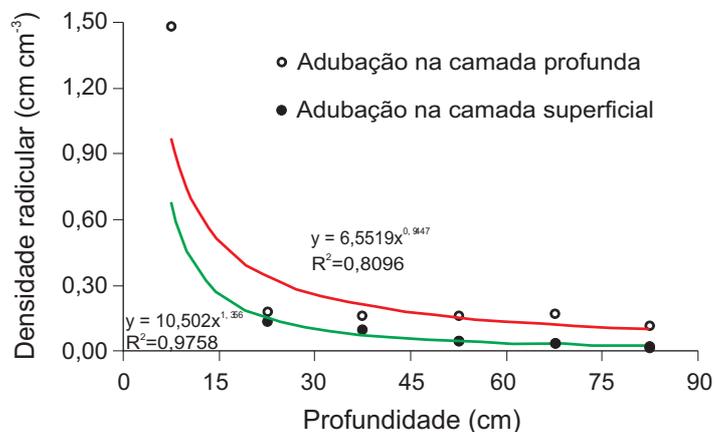


Figura 1. Densidade radicular do feijoeiro da “seca”, cv. Venezuela 350, em 1980, em condições de adubação aplicada nas camadas superficial e profunda, utilizando-se 20, 80 e 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

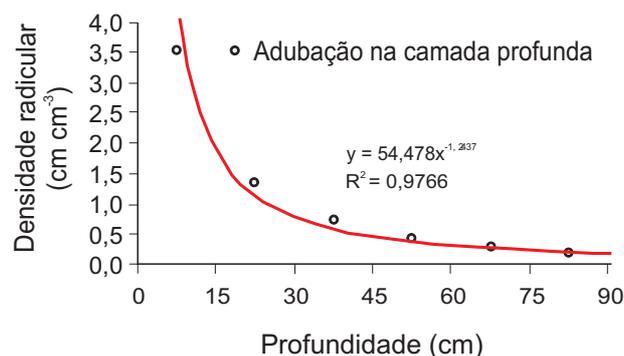
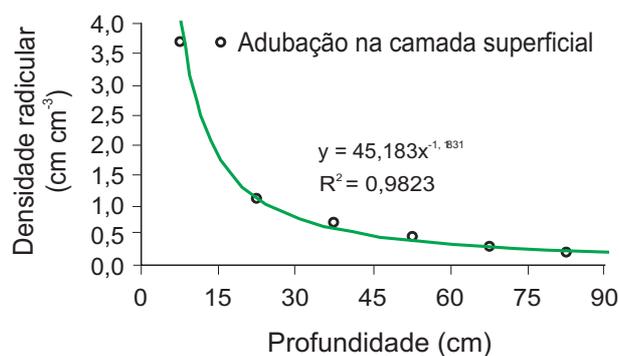


Figura 2. Densidade radicular do feijoeiro das “águas”, cv. Venezuela 350, em 1980, em condições de adubação aplicada nas camadas superficial e profunda, utilizando-se 15, 60 e 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ de K₂O, respectivamente.

BARBER (1985) constatou que, quando o fertilizante fosfatado foi misturado em apenas uma pequena porção de solo, ocorreu grande proliferação de raízes na porção fertilizada em relação às demais, podendo, neste caso, ter sido reduzida a absorção deste nutriente. Aumentos nos níveis de adubação, principalmente da localizada próximo às sementes, também têm resultado na redução do desenvolvimento de raízes de soja (RODER et al., 1989), de arroz de terras altas irrigado suplementarmente por aspersão (STONE & PEREIRA, 1994a), de milho (NANAGARA et al., 1976) e de feijão (STONE & PEREIRA, 1994b). Por outro lado, em condições de terras altas e sob regime de chuvas, GUIMARÃES & CASTRO (1981, 1982) e CHAIB et al. (1984) verificaram melhor desenvolvimento radicular do feijoeiro, no que refere à profundidade, quando se efetuou a adubação em maior profundidade, cerca de 10 cm abaixo das sementes, em relação à convencional, próxima das sementes.

Ao relacionarem as vantagens da aplicação diferenciada dos fertilizantes, no que refere à profundidade, KLUTHCOUSKI et al. (1982) destacam:

- o efeito da erosão superficial-laminar, no arrastamento de adubo, por ocasião das chuvas pesadas é eliminado;
- o adubo pulverizado ou misturado ao solo superficialmente é aproveitado em proporções reduzidas pela planta. Sua aplicação profunda e localizada coloca maior quantidade de fertilizante à disposição da planta, ao reduzir o contato adubo-solo;
- maior utilização do adubo pela planta, porque a maior umidade do solo na profundidade de 15 cm facilita a solubilização e o transporte de fertilizante;
- o desenvolvimento da cultura é melhorado, mesmo em condições de chuva escassa, devido ao melhor contato e melhor absorção do adubo pelo maior desenvolvimento radicular;

- a planta que se desenvolve em condições favoráveis de água e nutrientes torna-se mais resistente ao ataque de pragas e doenças; conseqüentemente, tais condições resultam em maior produção de grãos.

ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Ao se analisarem os critérios de essencialidade dos nutrientes para as plantas, encontramos que o potássio é classificado como macronutriente essencial muito necessário, desempenhando inúmeras funções, tais como as apontadas por MALAVOLTA (1967), relacionadas a seguir:

- Manutenção da organização celular – hidratação e permeabilidade – influenciando, direta ou indiretamente, em vários sistemas enzimáticos;

- Sob sua carência, a fotossíntese fica reduzida, aumentando a respiração, e ocorre aumento de compostos nitrogenados solúveis em detrimento das proteínas;

- Participação na fosforilação oxidativa;
- Auxílio na translocação de carboidratos.

Além dessas, FAGERIA (1984) destaca como funções do potássio:

- Melhoramento da resposta ao fósforo;
- Resistência a algumas doenças, como a brusone do arroz;
- Conservação da água nas folhas;
- Desenvolvimento do sistema radicular das plantas;
- Fortalecimento da parede celular com lignina; e
- Estímulo à absorção de silício.

Não obstante o reconhecimento de tais funções, o potássio pode tornar-se vilão em razão de seu índice salino que equivale a 116,3%, quando aplicado na forma de cloreto de potássio.

LOBO JUNIOR (2003) assegura que a proximidade do adubo e semente causa clorose nos bordos das folhas primárias das plantas, em especial do feijoeiro, provocada pela queima de raízes, devido ao seu contato com o cloreto de potássio das fórmulas NPK tradicionalmente utilizadas no cultivo do feijoeiro. Esta fitotoxidez geralmente não é mais observada nas folhas trifolioladas; contudo, o maior dano ocorre nas raízes que são queimadas pelo KCl, onde o tecido morto serve como porta de entrada para patógenos de solo como *Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*. Estes patógenos, causadores de podridões no sistema radicular, estão presentes em todas as regiões produtoras de feijão ou soja e causam, junto aos danos da queima, perdas em torno de 20% na produção. Mesmo em áreas com alta densidade de inóculo de *F. solani* e *R. solani* este problema tem sido minimizado com a utilização de MAP (N + P) no sulco de plantio e distribuição do potássio a lanço, garantindo maiores produtividades.

KLUTHCOUSKI (1998) verificou que a aplicação superficial e próxima das sementes de 40 kg ha⁻¹ e 65 kg ha⁻¹ de K₂O reduziu o estande final de plantas de soja em 3% e 12%, respectivamente. Em pesquisa paralela, esse mesmo autor observou que a colocação mais profunda do fertilizante para a cultura do feijoeiro, em área mantida no SPD por mais de oito anos, resultou em aumento significativo de produtividade quando o solo foi preparado com arado de aiveca (Tabela 4).

Tabela 4. Efeitos do manejo do solo e da profundidade de adubação sobre o rendimento do feijoeiro, cv. Pérola. Fazenda Três Irmãos, em Santa Helena de Goiás, GO.

Profundidade de adubação ¹ (cm)	Rendimento (kg ha ⁻¹)	
	Sistema Plantio Direto	Arado de aiveca
Sem Adubo	2.499 a	2.899 a
5	2.629 a	2.520 b
10	2.846 a	3.087 a
Média	2.658	2.835
DMS	376,00	
CV (%)	11,26	
Manejo x Profundidade de adubação	Ns	

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem, no nível de P = 0,05, pelo teste de Tukey.

¹ Adubação de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 2-20-20, em um Latossolo Roxo, de alta fertilidade, cultivado no Sistema Plantio Direto, por oito anos, e irrigado por pivô central. Condutividade elétrica (CE) de 1,46 dS/m e 0,23 dS/m, medida nos 5 cm em volta das sementes, uma semana após a emergência das plântulas, nos tratamentos **adubo a 5 cm**, em Sistema Plantio Direto, e **sem adubo**, na aivecagem, respectivamente.

Fonte: KLUTHCOUSKI (1998).

Nesse contexto, os dados até então disponíveis sugerem que o manejo da adubação, no que refere à profundidade ou posicionamento em relação às sementes, deve ser alterado, com as seguintes observações:

- Dar maior prioridade às pesquisas sobre os possíveis efeitos danosos do potássio, tanto no que diz respeito às raízes como na produtividade das culturas;

- Dar preferência a formulados sem ou com pouco potássio, aplicando este, preferencialmente, em pré ou pós-emergência das culturas, incorporados ou não, a lanço ou em linha;

- Na adubação de fundação, não utilizar mais que cerca de 30 kg ha⁻¹ de K₂O;

- Nos cultivos sob manejo convencional do solo, desalinhar o mecanismo sulcador das plantadoras em, pelo menos, 8 cm, em relação ao alinhamento das sementes;

- No SPD, caso não seja possível fazer o desalinhamento descrito no item anterior, aprofundar a adubação o máximo possível ou até, pelo menos, 5 cm abaixo das sementes;

- No SPD, usar preferencialmente sulcadores providos de facão, ou seja, as “botinhas”; e

- Em solos muito estruturados, como é o caso do SPD, ou ricos em matéria orgânica, a terra removida pelos sulcadores, em geral, não retorna facilmente para cobrir as sementes, para evitar que estas sejam depositadas juntamente com o fertilizante. Neste caso, deve-se soldar dois ou três elos de corrente atrás dos sulcadores, para que estes removam o solo e, assim, distancie o espaço entre semente e fertilizante.

OUTROS FATORES QUE IMPEDEM O DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

Considerando-se as partes da planta, as raízes são as menos conhecidas, as menos estudadas, as menos entendidas e as menos

apreciadas, pelo fato de não poderem ser vistas e, ainda, pelas dificuldades para o seu estudo (HUGHES et al., 1992). São elas, contudo, que, além de servirem como suporte da planta, atuam como a principal “boca”, absorvendo e translocando água e nutrientes, e também sintetizando carboidratos. Por isto, devem receber especial atenção da pesquisa.

Além do manejo da adubação, as alterações nas propriedades do solo, devidas ao manejo, afetam profundamente o desenvolvimento radicular das plantas. De acordo com MILLER (1986), estas funções são afetadas por estresses aos quais as raízes podem estar sujeitas, tais como: falta ou excesso de água, deficiência de O_2 , deficiência ou desequilíbrio de nutrientes, temperaturas adversas, impedimento físico, presença de elementos tóxicos e ataque de insetos e doenças.

Na agricultura de sequeiro, principalmente em regiões sujeitas a curtos períodos de estresse hídrico, é desejável o desenvolvimento profundo das raízes. Já para a agricultura irrigada e intensamente fertilizada, segundo alguns autores, o sistema radicular profundo pode ser indesejável devido à demanda extra de fotoassimilados. Isto, porém, carece de mais pesquisas, porque a planta deve responder ao sistema radicular profundo com maior área foliar, número de vagens e produtividade também em áreas irrigadas – em parte, porque isso indica que não há compactação ou que não houve danos nas raízes por patógenos de solo.

O excesso de umidade no solo, por outro lado, tem sido prejudicial ao crescimento das raízes, em profundidade, nas plantas de soja (STANLEY et al., 1980), feijão (AZEVEDO et al., 1993), milho (MACKAY & BARBER, 1985) e arroz de terras altas (SÉGUY & BOUZINAC, 1993). Ainda assim, o impedimento causado por camadas de solo compactadas tem sido o principal fator que influencia o alongamento e a proliferação das raízes (TU & TAN, 1991). Sob compactação, a massa específica do solo aumenta e a porosidade diminui, principalmente em relação aos macroporos. As raízes não conseguem reduzir seu diâmetro para penetrar nos poros menores que as suas extremidades (Wiersum, 1957, citado por MARSCHNER, 1986). Neste caso, as raízes têm que deslocar as partículas de solo, a força necessária rapidamente se esgota e o alongamento das raízes é restringido (MARSCHNER, 1986).

Tal como os diferentes manejos afetam as propriedades do solo, via de regra, também afetam o desenvolvimento radicular das culturas. PRIMAVESI (1990) relata que massa específica do solo entre 1,2 e 1,4 $Mg\ m^{-3}$ já pode se constituir em uma barreira para o crescimento radicular das plantas, sendo crítico na massa específica de 1,6 $Mg\ m^{-3}$.

Realmente, GUIMARÃES et al. (2003) verificaram que massas específicas de 1,4 $Mg\ m^{-3}$ ou maiores reduziram a densidade de comprimento radicular e a massa seca de raízes do feijoeiro (Figuras 3 e 4). KASPER et al. (1978) observaram maior grau de crescimento das raízes de soja, independente do manejo ou das propriedades físicas do solo, durante o florescimento e diminuição na fase inicial de enchimento dos grãos.

Da mesma forma, a maior concentração de raízes ocorreu na superfície, entre 0 e 15 cm de profundidade (KASPER, 1985). Redução no desenvolvimento radicular da soja devido à compactação é mencionada por BENEZ et al. (1986), PEDO et al. (1986), BORGES et al. (1988), MORAES et al. (1995) e TORRES et al. (1995).

MORAES et al. (1991) registraram reduções no desenvolvimento radicular da soja a partir de massas específicas do solo superiores a 1,26 $Mg\ m^{-3}$ em Terra Roxa Estruturada e 1,17 $Mg\ m^{-3}$ em Latossolo Roxo. As reduções da massa radicular foram superio-

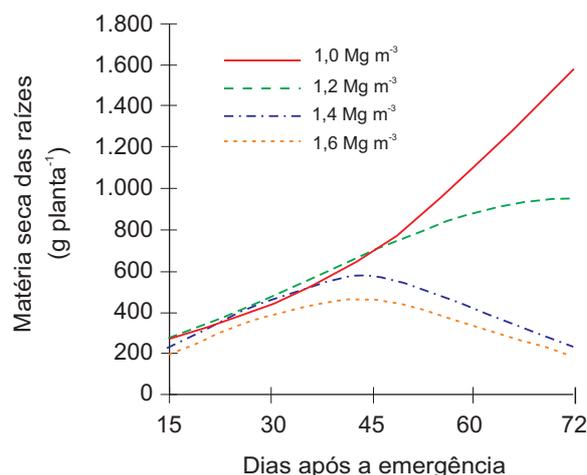


Figura 3. Massa da matéria seca das raízes da cultivar de feijão Pérola na camada de solo de 0-20 cm, submetida a quatro níveis de densidade do solo.

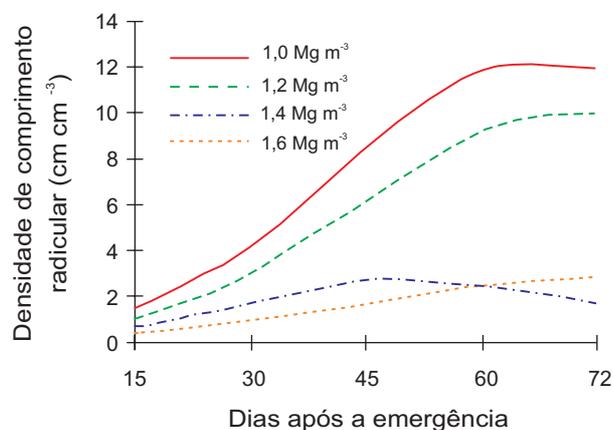


Figura 4. Densidade de comprimento radicular da cultivar de feijão Pérola na camada de solo de 0-20 cm, submetida a quatro níveis de densidade do solo.

res a 50% na Terra Roxa Estruturada, para massa específica do solo de 1,30 $Mg\ m^{-3}$, e de cerca de 60% no Latossolo Roxo, com massa específica de 1,23 $Mg\ m^{-3}$. Em condições de laboratório, BORGES et al. (1988) verificaram que, a partir da massa específica de 1,25 $Mg\ m^{-3}$, em Latossolo Vermelho-Escuro, não mais se observou crescimento de raízes de soja. Elevando a massa específica do solo de 0,9 $Mg\ m^{-3}$ para 1,23 $Mg\ m^{-3}$ e 1,30 $Mg\ m^{-3}$, MORAES et al. (1995) verificaram reduções de 29% e 41%, respectivamente, na matéria seca de raízes de soja em Latossolo Roxo.

No SPD, a compactação das camadas superficiais e sub-superficiais é, muitas vezes, compensada pela continuidade dos poros resultantes da atividade biológica e da decomposição das raízes (GASSEN & GASSEN, 1996; BALBINO, 1997). Nesse sentido, VIEIRA (1981) observou que, após seis anos de SPD contínuo, as condições físicas do solo não ofereceram restrição ao crescimento radicular da soja. Em outro trabalho, VIEIRA (1985) menciona, inclusive, que o sistema radicular da soja é melhor distribuído no perfil do solo no SPD do que no manejo convencional com grade aradora ou arado de disco. VEIGAS & OLIVEIRA (1976) salientaram, também, que o SPD propicia um melhor desenvolvimento radicular da soja nas fases de crescimento vegetativo e florescimento e que, em condições de campo, os diversos modos de preparo do solo não influenciam a profundidade da raiz principal, nem o comportamento

das raízes laterais. Entretanto, CARDOSO (1993) mostrou que, nos Cerrados, as raízes da soja se desenvolvem melhor em profundidade quando o solo é preparado com arado de aivecas, em relação ao arado de disco ou SPD.

Segundo TORRES & SARAIVA (1997), as raízes se desenvolveram melhor, em SPD, quando o solo, Latossolo Roxo, foi previamente descompactado com escarificação, apresentando massa específica de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$. No solo compactado, com massa específica de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$, houve restrição ao crescimento radicular das cinco cultivares testadas. A compactação afetou negativamente a produtividade de todas as cultivares avaliadas. JASTER et al. (1993) relataram que, no SPD, as raízes da soja se desenvolvem mais intensamente na camada superficial (0-5 cm); na aração, contudo, verificou-se boa distribuição das raízes até a profundidade de 30 cm. Superioridade no desenvolvimento radicular na cultura da soja em solo descompactado com escarificação profunda foi descrita por MAIA & ELTZ (1992); TORRES et al. (1995); TORRES & SARAIVA (1995). As grades aradoras, por outro lado, resultam na pior distribuição radicular, sendo bastante superficial (MAIA & ELTZ, 1992; TORRES & SARAIVA, 1995). Correlação positiva entre desenvolvimento radicular e rendimento de soja foi registrada por TORRES et al. (1995a); TORRES & SARAIVA (1995) e TORRES & SARAIVA (1997).

Para a cultura do feijão, ROBERTSON et al. (1978) relatam que, em condições ideais de solo, as raízes podem atingir 1,5 m de profundidade. Na prática, no entanto, devido, possivelmente, ao tipo de solo e à presença de um ou mais tipos de impedimento de ordem física ou química, as raízes desta leguminosa se desenvolvem comumente até 50-60 cm de profundidade (INFORZATO, 1963; ROVIRA, 1975; OLIVEIRA & SILVA, 1990; PIRES et al., 1991; STONE & PEREIRA, 1994b). No caso do feijão irrigado por aspersão, a concentração das raízes na superfície parece ser ainda maior (OLIVEIRA & SILVA, 1990; PIRES et al., 1991; TEIXEIRA et al., 1992; STONE & PEREIRA, 1994b). É provável que isto seja decorrente do manejo da irrigação apenas na camada superficial, 0-30 cm, tratando-se de irrigação por pivô central.

ROVIRA (1975) constatou que a faixa de solo com dominância de absorção de nutrientes pelo feijoeiro é localizada entre 10 e 20 cm de profundidade.

Estudos sobre a resistência à seca com esta cultura mostram que as raízes mais profundas do feijoeiro foram positivamente correlacionadas com a produção de grãos e crescimento das plantas (SPONCHIADO et al., 1989), e alguns genótipos, apesar de enraizarem mais intensamente na superfície do solo, podem ter o sistema radicular explorando até 100 cm de profundidade (GUIMARÃES et al., 1996).

De acordo com resultados de pesquisa desenvolvida por STONE & SILVEIRA (1996), a compactação subsuperficial devida ao preparo do solo com grade induz à concentração superficial das raízes do feijoeiro até 10 cm; na aração com aivecas, a distribuição de raízes é boa até 40 cm de profundidade; e no SPD, a maior parte das raízes concentra-se nos primeiros 20 cm de profundidade.

De maneira similar às demais culturas, mais de 70% das raízes do arroz de terras altas concentram-se nos primeiros 20 cm de profundidade (STONE & PEREIRA, 1994a; STONE & MOREIRA,

1998). Já na profundidade de até 40 cm, de acordo com GUIMARÃES & MOREIRA (1997), a densidade radicular do arroz tende a diminuir com o aumento da compactação a partir da massa específica do solo em torno de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. GUIMARÃES (1997) concluiu que, comparativamente ao SPD, a aração promoveu maior desenvolvimento das raízes em profundidade. No SPD, observou-se, também, redução no desenvolvimento da parte aérea do arroz. Para STONE & MOREIRA (1998), há melhor distribuição das raízes do arroz de terras altas no preparo do solo realizado com arado de aivecas em relação à grade aradora, e similar ao SPD. GROHMANN & QUEIROZ NETO (1966) observaram que houve impedimento físico ao desenvolvimento das raízes do arroz quando a massa específica do solo atingiu valores superiores a $1,42 \text{ g m}^{-3}$, em Latossolo Roxo, e $1,38 \text{ g m}^{-3}$, em Podzólico Vermelho-Amarelo. BOUZINAC et al. (1987) relataram que, no solo preparado com grade aradora, 85% das raízes do arroz se concentraram nos primeiros 10 cm. Com a aração invertida (grade aradora seguido da aração), além do acréscimo no volume total de raízes, 49% delas ficaram distribuídas no perfil de 10-60 cm de profundidade.

Na cultura do milho, a maior concentração de raízes ocorre nos 20 cm superficiais (MENGEL & BARBER, 1974; DURIEUX et al., 1994), e a profundidade efetiva de exploração depende do tipo de solo (RESENDE et al., 1990). ANDERSON (1987) concluiu que o desenvolvimento mais intenso das raízes do milho ocorre até a oitava semana após a semeadura. JANSEN & WEERT (1977), PEDO et al. (1986) e HUGHES et al. (1992) observaram que, em solo compactado, ocorre restrição ao desenvolvimento radicular do milho, quase sempre refletindo na produção de grãos. Correlação positiva entre melhor desenvolvimento radicular e rendimento de grãos de milho foi registrada por CHOUDHURY et al. (1991) e GILL et al. (1996).

GILL et al. (1996) asseguram que as raízes do milho se desenvolvem melhor em solo descompactado com escarificação, em relação à grade aradora. Ao compararem o preparo convencional com arado de disco, escarificação e SPD, NEWELL & WILHELM (1987) verificaram maior concentração de raízes do milho no SPD e escarificação no perfil 0-15 cm. Melhor distribuição radicular do milho em profundidade devido à subsolagem também foi registrada por MANFRON et al. (1991).

Outro ponto relevante é que a compactação do solo pode afetar a absorção de nutrientes através da modificação no crescimento radicular das plantas e na disponibilidade de nutrientes. PHILLIPS & KICKHAM (1962) destacam que a presença de camada compactada pode reduzir em até 25% a absorção de N, P e K pelas plantas de milho. Já BORGES et al. (1988) constataram que a compactação do solo reduziu o acúmulo de P, K, Ca e Mg na parte aérea de plantas de soja, e que o acúmulo foi máximo até a massa específica do solo da ordem de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ para os três primeiros nutrientes citados.

Algumas leguminosas como o feijão-de-porco e feijão bravo também mostraram redução no acúmulo de Ca, K e P em solo compactado (ALVARENGA et al., 1995). Para a cultura do feijão, PRIMAVESI et al. (1985) concluíram que a compactação reduziu a extração de Ca, P e N, em um Latossolo Roxo, e de K, num Podzólico, havendo, contudo, aumentos na concentração foliar de Mg, Ca e N.

A compactação do solo pode afetar a absorção de nutrientes através da modificação no crescimento radicular das plantas e na disponibilidade de nutrientes. A presença de camada compactada pode reduzir em até 25% a absorção de N, P e K pelas plantas de milho.

REFERÊNCIAS

- ALONÇO, A. dos S.; FERREIRA, O.O. Incorporação profunda de fertilizantes e calcário: sua influência na produção de milho (*Zea mays* L.) sob stress hídrico e sobre algumas propriedades físicas e químicas de um solo cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. p. 1206-1225.
- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M. da.; MOURA FILHO, V. et al. Crescimento e absorção de nutrientes por leguminosas em resposta à compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 1951-1952.
- AZEVEDO, C.S.S.; ANTUNES, I.F.; SANTOS FILHO, B.G. Peso da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular mais as raízes adventícias na caracterização de dois cultivares de feijão submetidas a excesso de umidade no solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4., 1993, Londrina, PR. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1993. p. 17.
- BALBINO, L.C. Sistema plantio direto. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia, GO. **Anais.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1997. v. 2. p. 219-228. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 70).
- BARBER, S.A. Fertilizer rate and placement effects on nutrient uptake by soybeans. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3., 1984, Ames. **Proceedings...** Boulder: Westview, 1985. p. 1007-1115.
- BENEZ, S.H.; GAMERO, C.A.; FURLANI JR., J.A. Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento do sistema radicular da soja (*Glycine max* L. Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SBEA, 1986. p. 310.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F. de; REGAZZI, A.J. et al. Resposta de variedades de soja à compactação de camadas do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, n. 202, p. 553-568, 1988.
- BOUZINAC, S.R.R.; SÉGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J. Efeito de métodos de preparo do solo sobre o enraizamento do arroz de sequeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 3., 1987, Goiânia, GO. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1987. p. 120. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 19).
- CARDOSO, A.N. Manejo e conservação do solo na cultura da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA NO CERRADO, 1992, Uberaba, MG. Cultura da soja nos cerrados: **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 71-104.
- CHAIB, S.L.; BULISANI, E.A.; CASTRO, L.H.S.M. Crescimento e produção do feijoeiro em resposta à profundidade da aplicação do adubo fosfatado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 817-822, 1984.
- CHOUDHURY, E.N.; MELLO, C.A. de O.; MORGADO, L.B. **Preparo do solo e adubação residual na cultura do milho em áreas irrigadas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1991. 21 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 40).
- DURIEUX, R.P.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. et al. Root distribution of corn: the effect of nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 958-962, 1994.
- FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: Embrapa, 1984. 341 p.
- GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.
- GILL, K.S.; GAJRI, P.R.; CHOUDHARY, J. et al. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, p. 213-227, 1996.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P. de. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 38, p. 421-431, 1966.
- GUIMARÃES, C.M. Desenvolvimento radicular e da parte aérea do arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) em sistemas de Sistema Plantio Direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém, PA. **Resumos...** Belém: SBFV, 1997. p. 400.
- GUIMARÃES, C.M.; CASTRO, T. de A.P. Sistema radicular do feijoeiro condicionado aos efeitos da profundidade de aplicação e tipo de adubo fosfatado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia, GO. **Anais.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. p. 138-141. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).
- GUIMARÃES, C.M.; CASTRO, T. de A.P. **Sistema radicular do feijoeiro e profundidade de aplicação do adubo**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1981. 3 p. (EMBRAPA-CNPAP. Pesquisa em Andamento, 31).
- GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Influência da compactação do solo sobre o desenvolvimento da parte aérea e radicular do arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém, PA. **Resumos.** Belém: SBFV, 1997. p. 401.
- GUIMARÃES, C.M.; BRUNINI, O.; STONE, L.F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 393-399, 1996.
- GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, 2002.
- HUGHES, K.A.; HORNE, D.J.; ROSS, C.W. et al. A 10-year maize/oats rotation under three tillage systems: 2. Plant population, root distribution and forage yields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 22, p. 145-157, 1992.
- INFORZATO, R. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 477-482, 1963.
- JANSEN, B.H.; WEERT, R. Van Der. The influence of fertilizer, soil organic matter and soil compaction on maize yields on the Surinam zanderej soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 46, n. 2, p. 445-459, 1977.
- JASTER, F.; ELTZ, F.F.L.; FERNANDES, F.F. et al. **Rendimento de grãos de diferentes sistemas de preparo e manejo do solo**. Londrina: EMBRAPA-CNPASO, 1993. 37 p. (EMBRAPA-CNPASO. Documentos, 61).
- KASPER, T.C. Growth and development of soybean root system. In: WORLD SOYBEANS RESEARCH CONFERENCE, 3., 1984, Ames. **Proceedings...** Boulder: Westview, 1985. p. 841-847.
- KASPER, T.C.; STANLEY, C.D.; TAYLOR, H.M. Soybean root growth during the reproductive stages of development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 1105-1107, 1978.
- KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de Sistema Plantio Direto. Piracicaba, 1998. 179 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; TEIXEIRA, M.G. et al. Profundidade de incorporação de adubos para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. p. 142-143. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).
- KNOTT, J. E. **Handbook for vegetable growers**. John Wiley & Sons, Inc. London-Chapman & Hall, Ltd. 1957. 238 p.
- MACKAY, A.D.; BARBER, S.A. Soil moisture affects on root growth and phosphorus uptake by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 4, p. 519-523, 1985.
- MAIA, J.C.S.; ELTZ, F.F.L. Avaliação da cultura da soja (*Glycine max* L.) submetida a dois sistemas de preparo do solo sob vegetação de cerrados; III. Percentagem de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. v. 2. p. 869-882.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química Agrícola – Adubos e Adubação. Adubos potássicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda., 1967. p. 100-126.
- MALLARINO, A.P. Manejo de fósforo e potássio y starters para maiz y soya en siembra directa. In: CONGRESSO NACIONAL DE AAPRESID, 5., 1997, Mar del Plata. **Conferências...** [S.l. : s.n.], 1997. p. 11-19.
- MANFRON, P.A.; LIBARDI, P.L.; PAULETTO, E.A. et al. Efeito do método de preparo do solo na distribuição radicular do milho (*Zea mays* L.) em terra roxa estruturada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 353-366, 1991.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 624 p.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Development and distribution of the corn root system under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 3, p. 341-344, 1974.
- MILLER, D.E. Root systems in relation to stress tolerance. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 4, p. 963-970, 1986.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, 1995.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Científica**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 195-206, 1991.
- NANAGARA, T.; PHILLIPS, R.E.; LEGGET, J.E. Diffusion and mass flow of nitrate-nitrogen into corn roots grown under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 67-72, 1976.
- NEWELL, R.O.; WILHELM, W.W. Conservation tillage and irrigation effects on corn root development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 1, p. 160-165, 1987.
- OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-322, 1990.
- PEDO, F.; MIELNICZUK, J.; MEDEIROS, J.C. Rendimento e distribuição de raízes em dois níveis de compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 6., 1986, Campo Grande, MS. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 14.
- PHILLIPS, R.S.; KICKHAM, D. Soil compaction in the field and corn growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 29-34, 1962.
- PIRES, R.C. de M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M. et al. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 549 p.
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de.; MURAOKA, T. Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de nutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em dois solos sujeitos à compactação. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, Piracicaba, v. 42, n. 2, p. 327-362, 1985.
- RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALBUQUERQUE, P.E.P. et al. Estimativa do desenvolvimento radicular do milho irrigado em dois tipos de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 18., 1990, Vitória, ES. **Resumos...** Vitória: EMCAPA, 1990. p. 133. (EMCAPA. Documentos, 65).
- ROBERTSON, L.S.; CHRISTENSON, D.R.; SMUCKER, A.J.M. et al. Tillage systems. In: ROBERTSON, L.S.; FRAIZER, R.D. (Ed.). **Dry bean production: principles and practices**. [S.l.]: Michigan State University, 1978. p. 79-93.
- RODER, W.; MASON, S.C.; CLEGG, M.D. et al. Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53, p. 1464-1470, 1989.
- ROVIRA, L.A.A. Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. carioca. Piracicaba, 1975. 87 p. Tese (Doutor em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. **Os sistemas de culturas para a região do Médio Norte do Mato Grosso: recomendações técnicas**. [S.l. : s.n.], 1993. 58 p.
- SPONCHIADO, B.N.; WHITE, J.W.; CASTILLO, R. et al. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. **Experimental Agriculture**, London, v. 25, p. 249-257, 1989.
- STANLEY, C.D.; KASPAR, T.C.; TAYLOR, H.M. Soybean top and root response to temporary water table imposed at three different stages of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 22, p. 341-346, 1980.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Desenvolvimento radicular de cultivares de arroz em diferentes sistemas de preparo do solo, sob irrigação suplementar por aspersão. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 6., 1998, Goiânia, GO. **Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzeas e terras altas**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1998. p. 103-106. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 85).
- STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 10, p. 1577-1592, 1994a.
- STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p. 939-954, 1994b.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Efeito do preparo do solo na compactação e disponibilidade de água do solo e no desenvolvimento radicular e produtividade do feijoeiro irrigado por aspersão. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia : EMBRAPA-CNPAP, 1996. v. 1. p. 459-461. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 69).
- TEIXEIRA, D.M.C., MAIA, A. de H.N.; CORNAT, B. **Profundidade efetiva de raízes em feijoeiro irrigado**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAP, 1992. 4 p. (EMBRAPA-CNPAP. Pesquisa em Andamento, 17).
- THUNG, M.; ORTEGA, J.; RODRIGUEZ, R. Respuesta y aprovechamiento del fósforo aplicado a dos profundidades y su efecto en el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia : EMBRAPA-CNPAP, 1982. p. 205. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Comportamento da compactação do solo no plantio direto e avaliação do seu efeito sobre o desenvolvimento do sistema radicular e produtividade de cultivares de soja. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 19., 1997, Jaboticabal, SP. **Ata e Resumos...** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. p. 181. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 107).
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Doze anos de manejo do solo em soja: sistema radicular, produtividade e algumas características físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, 1995a. v. 4. p. 1802-1803.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Doze anos de manejo do solo em soja: sistema radicular, produtividade e algumas características físicas do solo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 17., 1995, Goiânia, GO. **Ata e Resumos...** Goiânia: EMGOPA, 1995b. p. 122-123. (EMGOPA. Documentos, 28).
- TORRES, E.; GALERANI, P.R.; SARAIVA, O.F. Avaliação de sistemas de produção de soja: manejo, rotação e cultivares. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 17., 1995, Goiânia, GO. **Ata e Resumos...** Goiânia: EMGOPA, 1995b. p. 117. (EMGOPA. Documentos, 28).
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; FARIAS, J.R.B. Resposta de diferentes cultivares de soja à compactação do solo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 17, 1995, Goiânia. **Ata e Resumos...** Goiânia: EMGOPA. 1995a. p. 126. (EMGOPA, Documentos, 28).
- TU, J.C.; TAN, C.S. Effect of soil compaction on growth, yield and root rots of white beans in clay loam and sandy loam soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, p. 233-238, 1991.
- VEIGAS, C.L.; OLIVEIRA, L.B. de. Influência do preparo do solo sobre a distribuição de raízes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo podzólico vermelho amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 6, n. 3, p. 295-307, 1976.
- VIEIRA, C. **O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1967. 220 p.
- VIEIRA, C.; GOMES, F. R. Ensaio de adubação química do feijoeiro. **Ver. Ceres**, v.11, p. 253-264, 1961.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. (Coord.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 161-179.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR (Ed.). **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p. 19-30. (IAPAR. Circular, 23).