



ISSN 1678-9644

Dezembro, 2003

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## *Documentos 158*

# **Efeitos Nocivos do Manejo Inadequado da Adubação no Crescimento Radicular das Culturas Anuais, com Ênfase no Potássio**

João Kluthcouski  
Luís Fernando Stone

Santo Antônio de Goiás, GO  
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Arroz e Feijão**

Rodovia Goiânia a Nova Veneza km 12 Zona Rural  
Caixa Postal 179  
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (62) 533 2110  
Fax: (62) 533 2100  
www.cnpaf.embrapa.br  
sac@cnpaf.embrapa.br

### **Comitê de Publicações**

Presidente: *Carlos Agustin Rava*  
Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*  
Membros: *Agostinho Dirceu Didonet*  
*Cleber Moraes Guimarães*

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*  
Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*  
Tratamento de ilustrações: *Fabiano Severino*  
Capa: *Luiz Antonio Passos*  
Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

### **1ª edição**

1ª impressão (2002): 500 exemplares

### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Arroz e Feijão

---

Kluthcouski, João.

Efeitos nocivos do manejo inadequado da adubação no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no potássio / João Kluthcouski, Luís Fernando Stone. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2003.

19 p. - (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644 ; 158)

1. Adubação. 2. Potássio. 3. Raiz. I. Stone, Luís Fernando. II. Título. III. Embrapa Arroz e Feijão. IV. Série.

CDD 631.83 (21. ed.)

---

© Embrapa 2003

# **Autores**

## **João Kluthcouski**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO.  
joak@cnpaf.embrapa.br

## **Luís Fernando Stone**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão  
stone@cnpaf.embrapa.br



# Apresentação

A agricultura brasileira, principalmente nos Cerrados, apresentou, nos últimos anos, um crescimento exponencial em relação à produtividade das principais culturas anuais, graças ao acervo tecnológico de alto nível que foi disponibilizado aos produtores. Com isto, as regiões tropicais consagram-se, definitivamente, como profícua produtora de alimentos para as futuras gerações.

Boa parte desta evolução, no entanto, deu-se graças a um alto dispêndio de energia, notadamente pelo uso de fertilizantes minerais, corretivos de acidez e demais defensivos agrícolas. No tocante aos fertilizantes minerais, optou-se, neste período, prioritariamente em estabelecer doses, fontes e época adequada de aplicação para as principais culturas. Ignorou-se, portanto, se estabelecer o manejo adequado de alguns fertilizantes, visando obter maior eficiência de absorção do(s) nutriente(s) neles contido(s), bem como possíveis injúrias que estes podem causar às plantas.

A verdadeira precisão da nossa agricultura requer, hoje, que estas variáveis sejam também conhecidas, as quais podem resultar em aumento de produtividade sem com isto onerar os sistemas de produção. Este é o caso, por exemplo, do uso do cloreto de potássio como fertilizante que, apesar de ser fonte de um macronutriente essencial, pode causar injúrias às plantas quando mal manejado.

Esta é mais uma contribuição da Embrapa Arroz e Feijão em prol de uma agricultura cada vez mais sustentável.

*Pedro Antonio Arraes Pereira*  
Chefe-Geral da Embrapa Arroz e Feijão



# Sumário

<b>Introdução .....</b>	<b>9</b>
A disposição dos fertilizantes .....	10
Adubação potássica .....	14
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>17</b>



# Efeitos Nocivos do Manejo Inadequado da Adubação no Crescimento Radicular das Culturas Anuais, com Ênfase no Potássio

---

*João Kluthcouski*

*Luis Fernando Stone*

## 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 é de precisão na agricultura. Assim, antes faz-se necessário: corrigir a acidez do perfil do solo, com quantidade e qualidade dos corretivos e da sua correta colocação; descompactar o solo com equipamento adequado e na profundidade correta; utilizar semente “sadia” da cultivar mais adaptada e produtiva; utilizar arranjos espaciais corretos das plantas; utilizar população ideal das plantas; semear as diferentes espécies vegetais na época mais adequada; 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; adubar equilibradamente e, dentre outros procedimentos, posicionar o adubo corretamente em relação às sementes e à superfície do solo. 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”. Empiricamente, concebe-se que os insumos e o material genético respondem por cerca de 50% do potencial produtivo das espécies vegetais, sendo os outros 50% debitados à qualidade das operações dos “serviços” e manejo correto dos insumos.

Os fertilizantes minerais representam o insumo mais importante para a produção agrícola nos solos tropicais, notadamente nos do Cerrado, visto que estes são, via de regra, originalmente ácidos e de baixa fertilidade. Este insumo, por outro lado, é de

elevado dispêndio energético, podendo representar até 50% do custo de produção das principais culturas anuais. À medida que se vai melhorando a fertilidade do solo através de sucessivas adubações, mais atenção deve-se dar ao equilíbrio nutricional e ao posicionamento correto dos fertilizantes, sob pena de estes até mesmo interferirem negativamente no rendimento das culturas anuais, seja pela ineficiência de seu uso pelas plantas, seja por possíveis injúrias que possam ocorrer às raízes.

As raízes, por outro lado, são menos conhecidas, menos estudadas e menos entendidas dentre as partes da planta pelo fato de não poderem ser vistas e ainda pelas dificuldades para o seu estudo. As raízes têm as importantes missões de absorver e translocar água e nutrientes, sintetizar carboidratos e suportar a planta. 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  $O_2$ ; temperaturas adversas; impedimento físico; presença de elementos tóxicos; ataque de insetos e doenças, assim como deficiência ou desequilíbrio de nutrientes. Guimarães & Castro (1982) acrescem que o desenvolvimento radicular, em termos de profundidade e massa, também é afetado pelo posicionamento do fertilizante no perfil do solo. Na agricultura que depende exclusivamente das chuvas, principalmente em regiões sujeitas a curtos períodos de estresse hídrico, é desejável o desenvolvimento profundo das raízes.

Este documento tem como objetivo discutir os efeitos da localização da adubação, principalmente a potássica, na germinação, crescimento radicular e rendimento de algumas culturas anuais.

## **A disposição dos fertilizantes**

Os fertilizantes minerais, por apresentarem, na sua maioria, efeitos osmóticos e salinos, podem comprometer a germinação e o desenvolvimento das plântulas e raízes, principalmente num ambiente com disponibilidade hídrica deficiente. A salinização provocada pelos fertilizantes minerais, principalmente os potássicos, foi descrita pela primeira vez por Knott (1957) conforme se observa na Tabela 1.

No início da década de 60, Vieira & Gomes (1961) demonstraram que alguns fertilizantes 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.

<i>Fertilizante</i>	<i>Índice salino</i>
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, em porcentagem, em ensaio de adubação, em Muriaé, MG, atribuindo-se valor 100 para o tratamento sem adubo.

<i>Doses de superfosfato simples (kg ha<sup>-1</sup>)</i>	<i>Dose de cloreto de potássio (kg ha<sup>-1</sup>)</i>		
	<i>0</i>	<i>70</i>	<i>140</i>
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 do feijão (Thung et al., 1982) e milho (Barber, 1985; Alonço & Ferreira, 1992).

**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<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

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

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

<sup>2</sup> Cultivar Venezuela 350.

<sup>3</sup> Cultivar Venezuela 350, com irrigação suplementar.

**Fonte:** Kluthcouski et al. (1982).

Para Mallarino (1997), a adubação potássica mais profunda é particularmente 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 conseqüência, em baixos rendimentos de colheita, especialmente quando a camada superficial do solo estiver seca.

Em 1982, quando observaram que a disposição mais profunda dos fertilizantes pode interferir, positiva ou negativamente, no desenvolvimento das raízes do feijoeiro comum, Guimarães & Castro (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.

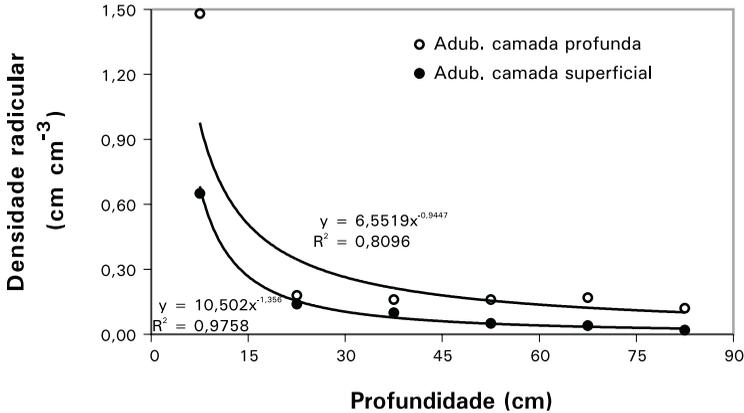


Fig. 1. Densidade radicular do feijoeiro da “seca”, cv. Venezuela 350, em 1980, em condições de adubação aplicada nas camadas superficial e profunda, utilizando-se 20, 80 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

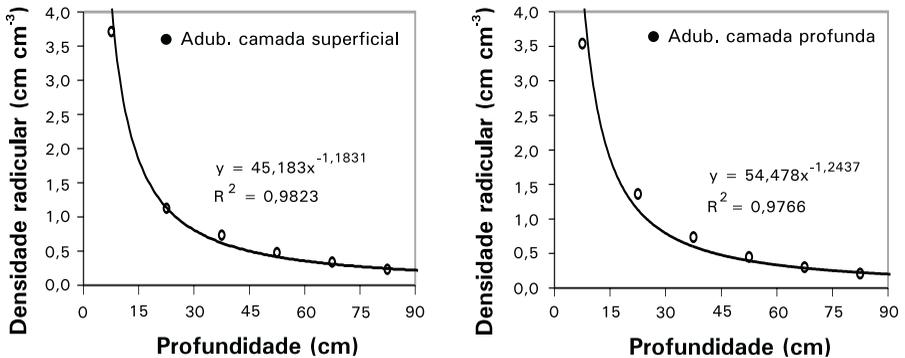


Fig. 2. Densidade radicular do feijoeiro das “águas”, cv. Venezuela 350, em 1980, em condições de adubação aplicada nas camadas superficial e profunda, utilizando-se 15, 60 e 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

Barber (1985) constatou que, quando o fertilizante fosfatado foi misturado em apenas uma pequena porção superficial de solo, ocorreu grande proliferação de raízes na porção fertilizada em relação às demais, podendo, neste caso, ter sido reduzida a absorção deste nutriente, em função de estresse hídrico. 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), do arroz de terras altas irrigado suplementarmente por aspersão (Stone & Pereira, 1994a), do milho (Nanagara et al., 1976) e do 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 se 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 se 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 às 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 Júnior (2003)<sup>1</sup> 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 fosfato monoamônico (MAP) (N + P) no sulco de semeadura e distribuição do potássio a lanço, garantindo maiores produtividades.

Kluthcouski (1998) verificou que a aplicação superficial e próxima das sementes de 40 kg ha<sup>-1</sup> e 65 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O reduziu o estande final de plantas de soja em 3% e 12%, respectivamente. Em pesquisa paralela, esse mesmo autor observou

---

1 Entrevista concedida pelo pesquisador Murillo Lobo Júnior, da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás (GO), em 26.09.2003.

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). Verifica-se, também, que a melhor resposta da cultura ao manejo do adubo na aivecagem deu-se, provavelmente, devido à descompactação do solo, onde a salinização resultou em redução significativa do rendimento de grãos de feijão.

**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.

<i>Profundidade de adubação<sup>1</sup></i> (cm)	<i>Rendimento (kg ha<sup>-1</sup>)</i>	
	<i>Sistema Plantio Direto</i>	<i>Aivecagem<sup>2</sup></i>
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	

<sup>1</sup>Adubação de 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 2-20-20. Condutividade elétrica (CE) de 1,46 dS/m<sup>-1</sup> e 0,23 dS/m<sup>-1</sup>, medida nos 5 cm em volta das sementes, uma semana após a emergência do feijão, nos tratamentos adubo a 5 cm, em SPD, e sem adubo, na aivecagem, respectivamente.

<sup>2</sup>Solo preparado com arado de aivecas até a profundidade de 35 cm.

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

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<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O;
- nos cultivos sob manejo convencional do solo, desalinhar o mecanismo sulcador das plantadoras em, pelo menos, 5 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, devem-se anexar dois ou três elos de corrente atrás dos sulcadores, para que estes removam o solo e, assim, distanciem o espaço entre semente e fertilizante.

## Referências Bibliográficas

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. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. p. 1206-1225.

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.

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, jul. 1984.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Goiânia: Embrapa-CNPAP; Rio de Janeiro: Campus, 1984. 341 p.

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.; 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. **Anais...** Goiânia: Embrapa–CNPAP, 1982. p. 138-141. (Embrapa–CNPAP. Documentos, 1).

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 plantio direto**. 1998. 179 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; TEIXEIRA, M. G.; CHAGAS, J. M.; CASTRO, T. de A. P. e; GUIMARÃES, C. M. Profundidade de incorporação de adubos para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa–CNPAP, 1982. p. 142-143. (Embrapa–CNPAP. Documentos, 1).

KNOTT, J. E. **Handbook for vegetable growers**. New York: J. Wiley, 1957. 245 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 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.

MILLER, D. E. Root systems in relation to stress tolerance. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 4, p. 963-970, Aug. 1986.

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, n. 1, p. 67-72, Jan./Feb. 1976.

RODER, W.; MASON, S. C.; CLEGG, M. D.; KNIEP, K. R. Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 53, n. 5, p. 1464-1470, Sept./Oct. 1989.

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, out. 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, jun. 1994b.

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. **Anais...** Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1982. p. 205. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 1).

VIEIRA, C.; GOMES, F. R. Ensaio de adubação química do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 11, n. 65, p. 253-264, jul./dez. 1961.

