

**6. ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO
SISTEMA RADICULAR DA SOJA NO
CERRADO**

HIROSHI KAWASAKI (Solos)

6. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE SOJA EM SOLOS DE CERRADOS

Hiroshi Kawasaki (Solos)

Fumio Iwata (Fitotecnia)

Manoel V. de Mesquita Filho (Solos)

OBJETIVO

Avaliar o desenvolvimento do sistema radicular da soja relacionado com as propriedades físicas e químicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Dentre os principais cereais cultivados no cerrado, escolheu-se a soja pela relativa facilidade de verificação do sistema radicular.

Fez-se um levantamento da distribuição real do sistema radicular da soja em solos de cerrado e, posteriormente, a relação entre as condições de solo e esse sistema pelo fato de ser essa relação de extrema importância.

Visando complementar o levantamento anterior, instalou-se um ensaio para verificar o efeito do cálcio e do fósforo sobre o desenvolvimento do sistema radicular da soja em solo de cerrado.

RESULTADOS

O levantamento realizado mostrou, em geral, que o desenvolvimento da raiz principal foi muito pequeno. Contudo, as raízes secundárias tiveram um bom desenvolvimento na superfície do solo.

Verificaram-se as seguintes relações:

1. À medida que se aumenta o número de plantios em uma mesma área, o sistema radicular da soja fica mais concentrado na superfície do solo.
2. A distribuição do sistema radicular da

soja mostrou que tem grande relação com o teor de fósforo solúvel no solo e com o grau de saturação de alumínio.

3. Como a terra roxa se apresentou com o pH neutro ou com baixa acidez, notou-se o fenômeno de uma concentração do sistema radicular mais superficial.

O ensaio de campo mostrou o seguinte:

1. Em solo LE e LA o desenvolvimento do sistema radicular da soja foi melhor no tratamento 1, onde o cálcio e fósforo foram aplicados mais profundamente (15 a 30cm) e distribuídos uniformemente. Em seguida vieram os tratamentos 2, onde o fósforo foi aplicado a uma profundidade maior (15 a 30 cm), e o 3, com a aplicação do cálcio, também a uma profundidade maior (15 a 30 cm). O pior tratamento obtido foi o 4, onde fósforo e o cálcio foram aplicados a uma pequena profundidade (0 a 15 cm).

2. No tratamento 2, com o pH baixo e o grau de saturação de alumínio elevado, o sistema radicular se aprofundou até a camada que recebeu fósforo (15 a 30 cm).
3. O grau de dureza do solo não influenciou o sistema radicular da planta.

CONCLUSÕES

Para estimular uma maior profundidade do sistema radicular da soja é necessário

que se faça a distribuição dos fertilizantes uniformemente, e a uma maior profundidade no solo (15 a 30 cm).

Em solo sob cerrado, há deficiência de vários nutrientes, acompanhada por elevada acidez, o que não permite um bom desenvolvimento do sistema radicular nas plantas.

Há necessidade de fazer uma mistura, a uma camada mais profunda do solo, desses elementos mais importantes, que são cálcio e fósforo, e que têm pequena movi-

mentação no solo.

Os tratamentos que proporcionarem às plantas maior e mais profundo desenvolvimento do sistema radicular, certamente as protegerão das injúrias do "veranico", uma vez que as raízes destas plantas ocupando um maior volume de solo e uma maior profundidade, poderão absorver água das camadas subsuperficiais durante o "veranico", reduzindo desta maneira os efeitos do mesmo.

ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA SOJA NO CERRADO

Hiroshi Kawasaki (Solos)
Fumio Iwata (Fitotecnia)
Manoel V. de Mesquita Filho (CPAC)

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 180 milhões de hectares, ou 25% do seu território, são caracterizados pela cobertura vegetal do tipo campo cerrado. Os solos desenvolvidos sob vegetação de cerrado têm sido designados genericamente por "solos de cerrado", nos quais encontram-se principalmente os Latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, extremamente lixiviados, ácidos, de baixa saturação de bases e de textura média ou argilosa (Camargo e Bennena, 1966). Solos de baixa fertilidade e de alto teor de alumínio (Freitas, 1968; Goodland, 1971; Lopes, 1975), são os mais antigos do mundo, e sofreram, durante séculos, grandes transformações e lixiviação (King, 1956). Apresentam formação de mineralogia constituída essencialmente de óxidos de ferro, alumínio e argila do grupo 1:1 (Fever, 1956; Jacomine, 1969), causa da elevada acidez e do alto teor de alumínio. Caracterizam-se

também por apresentarem baixa capacidade de troca catiônica e boa estrutura física, e por serem relativamente planos e pouco utilizados. A baixa disponibilidade de cálcio e magnésio e um elevado teor de alumínio tóxico limitam o crescimento e desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas (Jackson & Evans 1962, Rios & Pearson 1964 e Howard & Adams 1965).

Nos últimos anos, introduziram-se as culturas de soja e trigo no cerrado, utilizando técnicas modernas, mas a produtividade alcançada é baixa e instável. A literatura aponta, entre outras causas, a baixa fertilidade dos solos e a má distribuição de chuvas. Constatou-se ainda, que sem a correção da acidez do solo e sem adubação o desenvolvimento do sistema radicular é pequeno.

Por outro lado, as precipitações estão definidas em duas épocas, uma muito chuvosa e outra muito seca, sendo impraticá-

vel a agricultura neste período sem o auxílio da irrigação. Um outro fenômeno a ser considerado é o "veranico", um período seco na época chuvosa que influi nas plantas de sistema radicular pouco desenvolvido afetando a produção (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976).

Yoshida T.* comparou a concentração de alumínio das células de raízes de soja provenientes de solo de cerrado e de solo vulcânico Nishigawara. Observou que havia maior concentração de alumínio no material oriundo de solo de cerrado.

A acidez elevada do solo impede o melhor desenvolvimento das plantas, com conseqüente diminuição da produção (McClung & Freitas & Gallo e Quinn & Mott, 1958).

2. OBJETIVO

Os autores fixaram como objetivo, estudar as causas ou fatores que influem no baixo desenvolvimento do sistema radicular e a conseqüente baixa produtividade de soja; por ser esta uma cultura de importância econômica, e que apresenta um sistema radicular com maiores facilidades de observação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Um estudo foi feito através do levantamento do sistema radicular da planta de soja em diferentes tipos de solo: aluviais, terra roxa e diferentes locais de solo de cerrado.

O segundo estudo foi feito nas culturas plantadas no Projeto de Assentamento Dirigido de São Gotardo, MG, que foi a primeira área de cerrado a utilizar tecnologia moderna na sojicultura. Nesse estudo, analisaram-se as mudanças de fertilidade do solo nos anos sucessivos de plantio, relacio-

nando-o com o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular.

No período de fevereiro de 1978 a agosto de 1980, instalou-se um ensaio em campo no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados — CPAC — para estudar a influência do fósforo e do cálcio no desenvolvimento do sistema radicular.

3.1. Levantamento de sistema radicular em diferentes locais.

Para o efeito de ilustração, foram observadas as raízes de duas plantas completamente diferentes: soja e guandu.

A Figura.1 mostra diferentes sistemas radiculares de soja (**Glycine max**) e de guandu (**Cajanus cajan**) quando cultivados em solo de cerrado, aluvial e terra roxa, sendo estes dois últimos de alta fertilidade. Estas plantas em solo sob cerrado possuem um desenvolvimento radicular menor que as daquelas desenvolvidas em solo de aluvião e terra roxa.

3.2. Locais e métodos de verificação do sistema radicular.

3.2.1. Os estudos foram feitos com materiais oriundos dos seguintes locais:

Solo de cerrado — Jataí, Coromandel, Paracatu, Araxá, São Gotardo, em Minas Gerais, Planaltina, DF e Cristalina, GO.

Solo aluvial — Vargem Bonita, DF.

Solo de terra roxa — Londrina, PR (Centro Nacional de Pesquisa de Soja).

3.2.2. A verificação do sistema radicular foi feita utilizando-se os seguintes métodos:

- a. Arrancamento manual da planta, com prévio afofamento do solo e verificando-se somente as raízes grossas.
- b. Arrancamento da planta com auxílio de pá, retirando-se cuidadosamente a terra da região da raiz à medida que o sistema radicular ia aparecendo, e sendo arrancado do solo.

* Informação pessoal

c. Método Monolith que consiste em utilizar duas chapas metálicas para retirar o sistema radicular na sua posição normal. Cada chapa, que pode ter 30 cm x 35 cm ou 30 cm x 50 cm, é colocada verticalmente, a uma distância, a uma distância de 5 cm da haste da planta, no sentido longitudinal da linha de plantio, aprofundada até 35 cm. Retirando-se as chapas simultaneamente, tem-se uma fatia de terra de 10 cm de espessura, 35 cm de altura e 30 a 50 cm de largura. Esta fatia de terra é lavada cuidadosamente para não danificar as raízes ou modificar sua disposição natural.

Como os métodos acima não permitem a verificação das profundidades que as raízes podem atingir, foram feitas trincheiras com 50 cm de profundidade ao lado da planta.

De um modo geral identificaram-se dois modos de desenvolvimento do sistema radicular nos diferentes tipos de solo; um normal, com a raiz principal mais desenvolvida que as secundárias, aprofundada verticalmente no solo e distribuída uniforme nas diversas camadas do solo; e outro em que a raiz principal desenvolveu-se normalmente entre 5 e 10 cm de profundidade, daí em diante entortou-se e atrofiou-se, enquanto as raízes secundárias se desenvolveram mais que a principal, com maior diâmetro, e alcançaram maior profundidade, havendo grande concentração de raízes terciárias na camada superficial do solo.

3.3. Amostragem de solo para análise.

A coleta de amostra de solo foi feita dividindo-se o perfil em cinco camadas:

- 1ª = AP₁ — Camada superficial normalmente arada todo ano.
- 2ª = AP₂ — Camada situada abaixo do AP₁, ocasionalmente arada.

- 3ª = de AP₂ a 30 cm de profundidade.
- 4ª = de 30 a 40 cm de profundidade.
- 5ª = de 40 a 50 cm de profundidade.

Todas as amostras secas e peneiradas com peneira de malhas de 2 mm.

A determinação do pH foi feita numa diluição de 1:1 (um volume de terra e um volume de água).

O alumínio foi determinado utilizando-se solução 1N KCl onde se titulou com 0,01N NaOH tendo-se o azul de bromotimol como indicador.

A determinação do cálcio e magnésio foi feita pelo método de EDTA, e o fósforo pelo método de Mehlich, enquanto a da matéria orgânica utilizou o método de Kosaka (Kosaka et al. 1959).

4. RESULTADOS

4.1. Levantamento do sistema radicular em diferentes locais.

Na Tabela 1 são mostradas as porcentagens de plantas com sistema radicular normal, observadas nos diferentes tipos de solo e diferentes locais. Pode ser verificado que os diferentes tipos de solo influíram no desenvolvimento das raízes. De um modo geral, a porcentagem de plantas com sistema radicular normal é maior em solos aluviais e terra roxa do que em solos sob cerrado.

Nos solos sob cerrado, umas quatro raízes secundárias tiveram maior desenvolvimento, atingindo diâmetro superior ao da raiz principal, e uma grande quantidade de raízes terciárias formaram densa cabeleira. As raízes principais destas plantas desenvolveram-se entre 5 e 10 cm, entortando e definhando a seguir. Verificou-se na época de colheita que as raízes principais daquelas plantas paralizaram o crescimento naquele ponto. Em solo sob cerrado, cultivado pela primeira vez, notaram-se algumas plantas com o sistema radicular normalmente desenvolvido.

Tanto em solo de aluvião, como em terra roxa cultivada com café, nos últimos seis anos, as plantas apresentaram os sistemas radiculares normais e boa distribuição das raízes na camada arável do solo.

Em terra roxa cultivada com culturas anuais, observaram-se plantas com sistemas radiculares normais e modificados em iguais proporções. Houve uma grande diferença entre os sistemas radiculares normais de plantas desenvolvidas em terra roxa e em solo sob cerrado. No primeiro caso, a raiz principal apresentou crescimento vigoroso, as raízes secundárias e terciárias eram bem formadas e com boa distribuição nas camadas do solo, enquanto no solo sob cerrado, todo o conjunto de raízes foi deficiente. Nas Figuras 2 e 3 podem ser observadas as diferenças na distribuição do sistema radicular de plantas desenvolvidas em solo de cerrado e aluvião, pela amostragem de solo feita pelo método de Monolith.

4.2. Levantamento em solos de cerrados utilizados nos últimos seis anos.

Este levantamento foi feito no Projeto de Assentamento Dirigido de São Gotardo, MG, acompanhando-se as modificações da acidez e fertilidade dos solos nos últimos seis anos de utilização. Os resultados estão na Tabela 2.

A afeia em questão foi cultivada nos últimos anos, sucessivamente, com soja e trigo, utilizando-se sempre o mesmo sistema de preparo. Em 1978, isto é, no sexto ano de cultivo, antes do plantio de soja foi feita uma subsolagem. A Tabela 2 mostra os dados das porcentagens de plantas com sistemas radiculares normais e o ano dos cultivos do solo. Nos dois primeiros anos, observa-se o desenvolvimento normal das raízes; no terceiro e quarto, o desenvolvimento diminuiu para metade, e no quinto, a redução atinge a um terço.

Pela Figura 2 verifica-se a distribuição do sistema radicular. No primeiro ano, a raiz principal desenvolveu-se normalmente, e as raízes secundárias e terciárias distribuíram-se profundamente. No segundo, o desenvolvimento da raiz principal foi bom, e a distribuição das raízes secundárias e terciárias foi superficial. No quinto ano, a raiz principal desenvolveu-se deficientemente, e as raízes secundárias e terciárias formaram densa cabeleira na superfície do solo, enquanto no sexto, a raiz principal ainda apresentava crescimento deficiente, mas as raízes secundárias e terciárias aprofundaram-se nas camadas inferiores.

4.3. Resultados da análise do solo.

Os resultados da análise química dos solos de São Gotardo, MG, estão na Tabela 3. Com exceção do primeiro e do quarto ano de cultivo, o índice de pH foi sempre maior de 5,0 até a uma profundidade de 30 cm. A acidez foi corrigida na abertura da área e até onde foi possível, nos anos subsequentes. Na camada cultivável, os teores de $Ca^{++} + Mg^{++}$ é elevada, e a saturação com alumínio ativo, baixa. Quando as arções atingiram as camadas mais profundas AP₂, os índices de cálcio e magnésio também se mostraram um pouco elevados. O teor de fósforo se comportou semelhantemente ao de $Ca^{++} + Mg^{++}$, sendo elevado na primeira camada, e com pequena elevação na camada inferior AP₂ porém ocorrendo grande diferença entre as duas camadas. Fazendo-se uma comparação entre o primeiro e o segundo ano, verifica-se um teor muito elevado em relação ao dos demais anos; foi o quinto ano que apresentou o menor índice. Os teores de potássio e matéria orgânica na camada AP₁ foram pouco elevados, sem grande diferença entre as outras camadas. O teor de matéria orgânica diminuiu gradativamente do primeiro

para o segundo ano, mostrando certa recuperação nos anos subsequentes.

Em solo aluvial, que foi cultivado até 30 cm de profundidade, houve uma correção de acidez do solo, e os teores de cálcio, magnésio e fósforo foram altos. Na Tabela 4 observa-se que, em áreas cultivadas com cereais, o pH e os teores de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ são elevados. A concentração de fósforo na camada AP_1 é alta, e muito baixa nas camadas inferiores. Em solos cultivados com café, observa-se fato idêntico, sendo que o teor de fósforo na camada AP_1 é menor do que nos solos plantados com cereais.

4.4. Compactação do solo

A Figura 4 mostra as curvas de compactação dos solos de São Gotardo, MG. O grau de compactação varia entre 2,5 e 10 kg/cm^2 , enquanto o índice aumenta até 30 cm de profundidade, diminuindo em seguida. Estes dados mostram que o manejo dado aos solos pode aumentar ou diminuir o grau de compactação dos mesmos, fato evidenciado nas curvas do primeiro e do segundo ano, onde o grau de compactação cresce, enquanto, no quinto ano, decresce e tende novamente a aumentar no sexto ano.

4.5. Distribuição do sistema radicular.

Na Figura 2, observa-se que a distribuição do sistema radicular está relacionada inversamente com a saturação de alumínio e diretamente com o teor fósforo. Entre duas camadas de solo com diferentes teores de fósforo e saturação de alumínio, as raízes se concentram naquela onde há menor saturação de alumínio e maior teor de fósforo. Entretanto, no primeiro ano de cultivo do P.A.D.A.P. de São Gotardo, MG, o teor de fósforo foi praticamente o mesmo em todo o perfil, decorrendo daí uma distribuição mais ou menos uniforme do siste-

ma radicular nas camadas AP_1 e AP_2 . Do segundo ao sexto ano de cultivo, observa-se um aumento gradativo nos teores de fósforo e cálcio + magnésio na camada 0 — 30 cm e a não existência de alumínio em todo o perfil. No segundo ano, pode-se notar diferença de teores de fósforo, entre as camadas, e maior concentração de raízes na camada AP_1 . No quinto ano de cultivo, a diferença dos teores de fósforo entre as camadas foi maior, havendo concentração de raízes com maior evidência na camada superior. Finalmente, no sexto ano de cultivo, os teores de fósforo e cálcio + magnésio foram elevados e permitiram um maior aprofundamento das raízes que atingiram a camada AP_2 . A Tabela 2 vem ratificar as conotações da Fig. 2. A mesma situação foi observada quando a soja foi plantada em terra roxa. Na Figura 3-A, em solo, antes do plantio da soja cultivado com café, o desenvolvimento das raízes foi normal. Na Figura 3-B, observa-se que as raízes ficaram concentradas na superfície. Isto é causado, supõe-se, pela baixa saturação de alumínio e pelo alto teor de fósforo existente na camada AP_1 . No solo aluvial foi feita uma correção de acidez; a baixa saturação de alumínio e os altos teores de fósforo e cálcio + magnésio foram observados até 30 cm de profundidade, o que causou um desenvolvimento em profundidade das raízes da soja.

5. DISCUSSÃO

Aumento da densidade das raízes de 1,65 para 1,95 g/cm^3 , foi observado (Baligar & Nash & Hara e Price, 1975). As células das raízes sofreram alterações microscópicas. Quando se aumenta o grau de compactação acima de 30 kg/cm^2 , há uma brusca inibição do desenvolvimento das raízes (Taylor e Mathers e Lotspeich, 1964). Estudos sobre a distribuição das raízes em so-

lo de cerrado cultivado durante seis anos mostraram que o período chuvoso influencia esta densidade (Shioya T.)*. Como se faz o plantio no período chuvoso, a densidade ultrapassa $1,60 \text{ g/cm}^3$, e o grau de compactação vai além de 15 kg/cm^2 . Quando isso acontece, ocorre melhor desenvolvimento das raízes. Em solo com o cultivo contínuo sob cerrado, ocorre um endurecimento nas camadas inferiores (25 a 40 cm). O aumento do endurecimento diminui a porosidade, o que permite supor uma influência no desenvolvimento das raízes.

No entanto, em solo sob cerrado, este fato parece não ser o fator de influência direta no mau desenvolvimento do sistema radicular das plantas. De um modo geral, nestes solos, os fatores principais que afetam o desenvolvimento das raízes podem ser atribuídos ao elevado teor de alumínio e à alta fixação de fósforo.

Nos solos de São Gotardo, MG (Tabela 3), o pH do solo é maior que 5,0 até aos 30 cm de profundidade, e não havia saturação de alumínio por causa das calagens. Por este motivo, verificou-se formação de raízes normais.

Um ensaio em solo vulcânico, em Hakone, mostrou o desenvolvimento normal das raízes de alfafa, com efeito positivo do fósforo. A concentração das raízes se deu no local da aplicação do fósforo, não se

observando o efeito dos teores aplicados (Tanaka e Soejima, 1964).

Comparando-se os plantios de soja no primeiro e no segundo ano, em São Gotardo, MG, observou-se que o teor de fósforo na camada superficial não mostrou grande diferença de um ano para o outro. O teor de fósforo no segundo ano na camada profunda foi menor do que no primeiro ano. Ainda no segundo ano, verificou-se maior diferença entre os teores da primeira e da segunda camada, notando-se maior concentração de raízes na camada superficial. O mesmo aconteceu no quinto e sexto ano.

Em área de terra roxa de Londrina, PR, nas áreas A e B, os teores de fósforo eram iguais nas camadas inferiores, mas eram mais elevados na camada superior B do que na de A, ocorrendo, por isso, maior concentração de raízes nas camadas superiores.

A maioria dos produtores de soja no cerrado aplicam de 80 a 100 kg/ha de P_2O_5 no sulco na camada superficial do solo, sendo a profundidade de aração de 15 cm. Essa aração e aplicação superficial do fósforo em cultivos sucessivos promovem acúmulo daquele elemento nas camadas superficiais, causando uma diferença de concentração com as camadas mais profundas. Este fato nos permite supor que esta é uma das causas da distribuição superficial do sistema radicular.

II – EFEITO DA APLICAÇÃO PROFUNDA DE CÁLCIO E FÓSFORO

1. INTRODUÇÃO

Levantamentos anteriores indicaram que a inibição no crescimento da raiz principal era causada pela saturação de alumínio e que a concentração do sistema radi-

cular nas camadas superficiais do solo era causada pelas diferenças nas concentrações do fósforo nas diferentes camadas.

Este ensaio foi realizado para verificar o efeito da aplicação profunda do cálcio e fósforo no desenvolvimento e distribuição do sistema radicular da soja.

* Informação pessoal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em duas áreas, uma de solo LA e outra de LE do CPAC. A área de solo LE era ocupada anteriormente pela vegetação natural de cerrado e continha arbustos; a do LA era de pastagem natural.

A aplicação do corretivo e do fósforo foi feita em ambos os campos, nas profundidades de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm, conforme Tabela 6.

Para aplicação do calcário e do superfosfato triplo, retirou-se a terra das camadas superior e inferior, separadamente, com auxílio de pás, colocando-a sobre um lençol de lona. A cada porção de terra assim retirada, foram adicionadas as quantidades do superfosfato e do calcário, e feita a mistura.

Em todos os tratamentos, foram adicionados micronutrientes na forma F.T.E. BR-12 na dose de 50 kg/ha.

Após se misturarem fertilizante, calcário e micronutrientes com o solo, a mistura foi recolocada na mesma ordem inicial.

Por ocasião da semeadura, aplicaram-se 10 kg de N, 100 kg de K_2O , 100 kg de P_2O_5 por hectare, no sulco de plantio. Utilizaram-se uréia, cloreto de potássio e superfosfato triplo como fontes de N, P e K. Os fertilizantes foram colocados de modo a ficarem em baixo das sementes.

Utilizou-se a cultivar IAC-2 de soja, que foi plantada no espaçamento de 50 cm entre linhas, e de 3 a 5 cm entre plantas, sendo a parcela de 2 m x 2 m. A semeadura foi feita no dia 28.11.79.

A coleta do sistema radicular foi feita pelo método Monolith, no período de 17 a 20 de março/80, correspondendo à época do desenvolvimento dos grãos de soja.

As amostras de solo para análise foram retiradas nas entrelinhas.

3. RESULTADOS

Na Tabela 7 são encontrados as percentagens de plantas que apresentaram a raiz principal com desenvolvimento normal. Pelos dados pode-se verificar que no tratamento 1, usado para os dois tipos de solo, foram encontradas altas percentagens de plantas cujas raízes principais tinham desenvolvimento normal, seguida pelas plantas dos tratamentos 2 e 3. No solo LA observou-se que tais percentagens eram mais elevadas do que no LE. A Figura 5 mostra o desenvolvimento do sistema radicular no solo LE. Nos tratamentos 1 e 2, o sistema radicular atingiu a camada inferior, com boa distribuição, enquanto nos tratamentos 4 e 5, a distribuição do sistema radicular na camada inferior foi deficiente. O tratamento 3 ficou em posição intermediária aos demais tratamentos.

A Figura 6 mostra que os resultados obtidos no solo LA são semelhantes aos do LE. No tratamento 1, o sistema radicular foi bem desenvolvido, com boa distribuição, atingindo a camada inferior. Nos tratamentos 2 e 3, observou-se desenvolvimento radicular menor do que no tratamento 1; os volumes de raízes se apresentaram aproximadamente iguais. Nos tratamentos 4 e 5, o desenvolvimento das raízes foi pequeno. Os dois tipos de solo mostraram uma pequena diferença entre os desenvolvimentos dos sistemas radiculares. No LE as raízes eram mais finas, porém em maior quantidade do que no LA.

Na Tabela 8 encontram-se os resultados das análises químicas dos solos LE e LA. Em ambos os solos, a calagem aumentou o índice do pH e diminuiu a saturação do alumínio ativo. No LE, na camada infe-

rior sem calcário, a faixa do pH era de 4,6 a 4,8 e a saturação de alumínio ativo de 57 a 68%. Feita a calagem com calcário, o pH da camada inferior do solo elevou-se para uma faixa entre 5,1 e 5,2 e a saturação de alumínio ativo passou para uma faixa entre 28 a 30%.

A Figura 7 mostra as curvas de compactação em solo LE. Em linhas gerais, pode-se dizer que o grau de compactação foi maior nos tratamentos, pela ordem decrescente, 5, 2, 6, 1 e 3.

A Figura 8 mostra as curvas de compactação em solo LA. O grau de compactação manteve-se constante de 5 a 30 cm de profundidade em torno de 3 kg/cm^2 , a partir do qual aumentou drasticamente para 10 kg/cm^2 , como foi o caso dos tratamentos 4 e 2, e para 16 kg/cm^2 nos tratamentos 1 e 3.

4. DISCUSSÃO

O mau desenvolvimento do sistema radicular em solo sob cerrado é, em geral, atribuído à fitotoxicidade do alumínio ativo. Um ensaio, realizado em solo LE, onde se aplicou fósforo sem fazer calagem, apresentou pH 4,8 e teor de alumínio ativo igual a 5%. Nestas condições, o desenvolvimento do sistema radicular das raízes normal. Por outro lado, num ensaio realizado em solo LA que recebeu o tratamento 4 (sem calcário e sem fósforo na camada inferior), verificou-se que o pH era de 5,1 e o teor de alumínio ativo de 22%. O desenvolvimento das raízes foi pequeno. Estes resultados demonstram que o teor de alumínio pode ser um dos fatores responsáveis pelo mau desenvolvimento do sistema radicular. O teor de fósforo em solos sob cerrado é muito baixo. Não há desenvolvimento da planta sem a aplicação de fósforo. Nos tratamentos em que o fósforo foi aplicado nas duas

camadas, o desenvolvimento das raízes foi muito bom. Assim, o fator que causa o mau desenvolvimento do sistema radicular pode ser atribuído à carência de fósforo e ao alto teor de alumínio.

Em geral, o desenvolvimento das raízes em solo LA foi menor do que em LE. Isto confirma resultados anteriormente encontrados (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976). A fixação de fósforo em solo LA é mais elevada do que em LE*. Isso sugere um menor teor de fósforo solúvel no LE.

Em ambos os solos, o tratamento 3 (sem fósforo e com $1,0 \text{ t/ha}$ de calcário na camada inferior), foi melhor que o 4 (sem fósforo e sem calcário na camada inferior). O tratamento 1 (400 kg de P_2O_5 e $1,0 \text{ t/ha}$ na camada inferior) foi menor que o 2 (400 kg de P_2O_5 e sem calcário na camada inferior). Estes resultados sugerem que o índice de acidez, o teor de alumínio e de calcário também podem influir no desenvolvimento das raízes.

Houve grande diferença entre as curvas de compactação dos solos estudados. No LE foi mais elevada do que no LA, mas o sistema radicular se desenvolveu melhor no primeiro. O grau de compactação, no período chuvoso em solo sob cerrado, parece não estar prejudicando diretamente o desenvolvimento das raízes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os pesquisadores e técnicos que direta ou indiretamente ajudaram na realização dessa pesquisa e em especial a Japan International Cooperation Agency — JICA, pela oportunidade dada através da alocação de recursos financeiros e subsídios técnicos.

* Smyth Jot — Informação pessoal.

REFERÊNCIAS

- BALIGAR, V.C.; NASH, V.E.; HARE, M.L. & PRICE, J.A., Jr. Soybean root anatomy as influenced by soil bulk density agron. J. 67: 842 - 844, 1975.
- CAMARGO, M.N. & BENNENA, J. — Delimitação esquemática dos solos do Brasil. *Pesq. Agro. bras.*, 1: 47 - 54, 1966. Mapa de solos, escala 1: 10.000.000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, D.F. Relatório técnico anual 1976. Planaltina, 1976. 150 p.
- FREITAS, L.M.M. de — O uso de calcário na agricultura: técnica de correção de acidez baseada na experimentação agrícola. *Cienc. Cult.*, 20: 269, 1968.
- GOODLAND, R. — The cerrado oxissols of the Triângulo Mineiro, Central Brazil. *An. Acad. Bras. Ci.*, 43: 407 - 414, 1971.
- JACKSON, W.A. & EVANS, H.J. Effect of Ca supply on the development and composition of soybean seedlings. *Soil Sci.*, 94: 180 - 6, 1962.
- KING, L.C. — A geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geogr.* 18: 147 - 265, 1956.
- KOSAKA, H.; HONDA, C., & ISEKI, A. A new rapid and accurate method for the determination of Carbon in soils. *Soil and Plant Food*, 5 (2): 7 - 83, 1959.
- LOPES, A.S. — A survey of the fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Tese de M.S. North Carolina State University, Raleigh, 1975. 138 p.
- Mc CLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de, GALLO, J.R.; QUINN, L.R. & MOTT, G.O. Preliminary fertility studies on "campo cerrado" soils in Brazil. Local, (IBEC, Res. Inst. Bull, 13).
- TANAKA, N.; SOEJIMA, M.: On the morphological formation of roots in Alfalfa on uncultivated land of volcanic ashsoils.
- TAYLOR, H.M.; MATHERS, A.C. & LOTSPEICH, F.B. Pans in the southern Great Plains soils, I. Why root-restricting pans occur. *Agron. J.* 56:(3) 328 - 332, 1964.

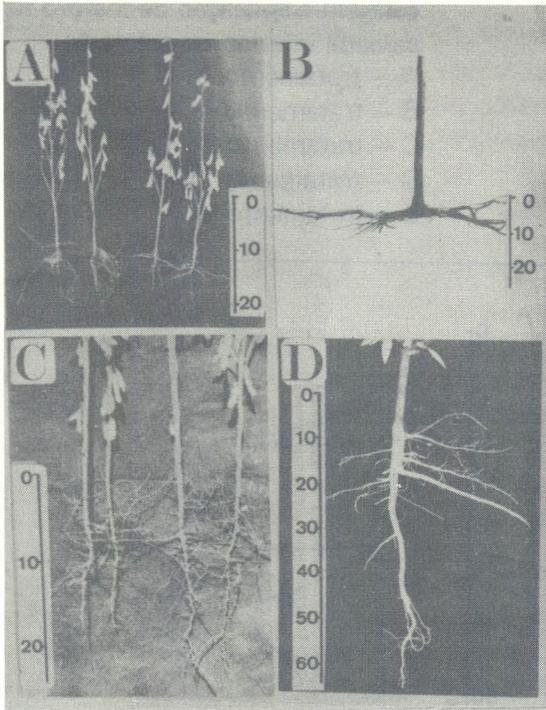


Figura 1. Sistema radicular de soja e (*Cajanus cajan*).

— Unidade (10 cm)

- A — Sistema radicular de soja de cerrado
- B — Sistema radicular de *Cajanus cajan* de cerrado
- C — Sistema radicular de soja de terra roxa
- D — Sistema radicular de *Cajanus Cajan* de terra aluvial

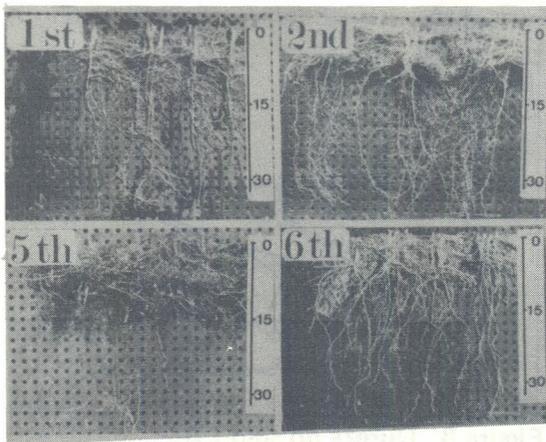


Figura 2. Distribuição do sistema radicular da planta de soja, diversos anos de utilização do solo em São Gotardo, MG. (Profundidade medida em cm).

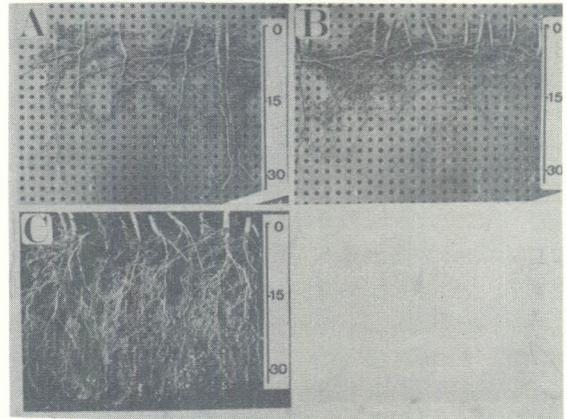


Figura 3. Distribuição de sistema radicular da planta de soja em solo de terra roxa (A e B) e aluvial (C). (Profundidade medida em cm).

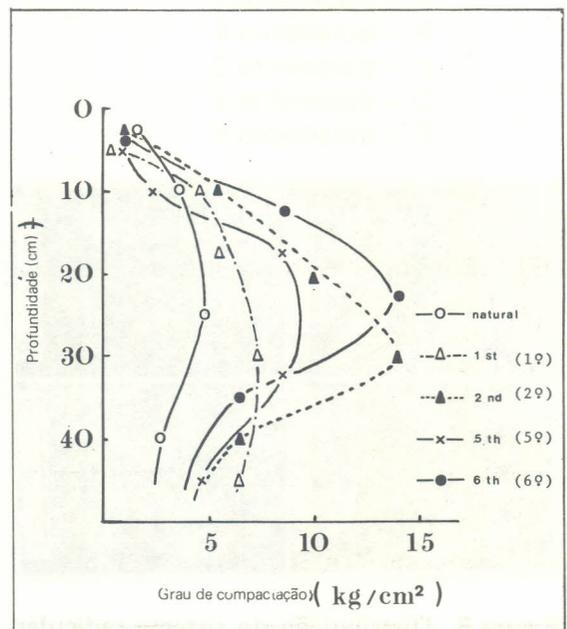


Figura 4. Dureza do solo de São Gotardo.

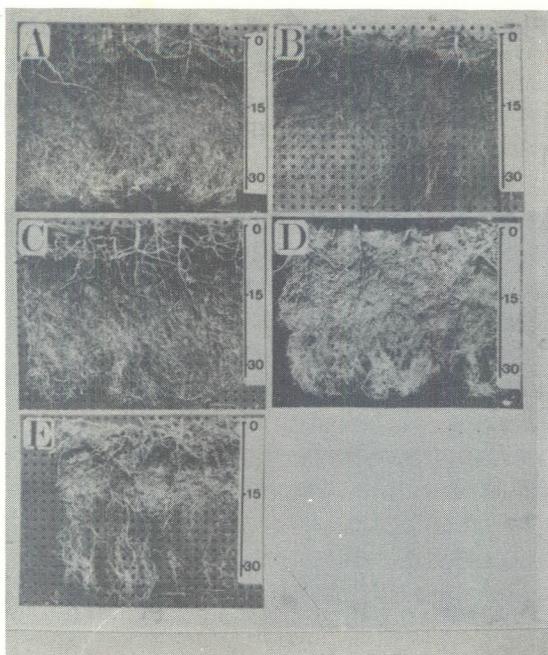


Figura 5. Distribuição do sistema radicular nos diferentes tratamentos com calagem e aplicação de fósforo na camada inferior em solo LE.

- A – tratamento 1
- B – tratamento 4
- C – tratamento 3
- D – tratamento 2
- E – tratamento 5

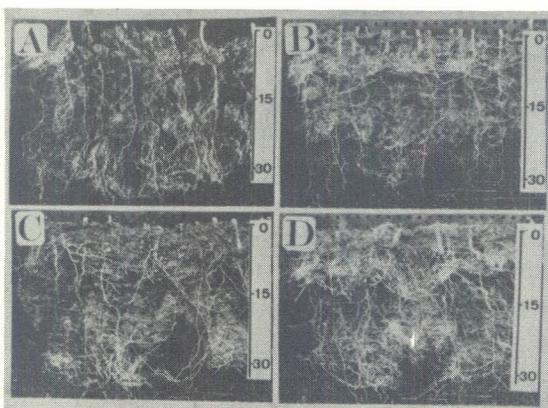


Figura 6. Distribuição do sistema radicular nos diferentes tratamentos com calagem e aplicação de fósforo na camada inferior em solo LA.

calagem e aplicação de fósforo na camada inferior em solo LA.

- A – tratamento 1
- B – tratamento 4
- C – tratamento 3
- D – tratamento 2
- E – tratamento 5

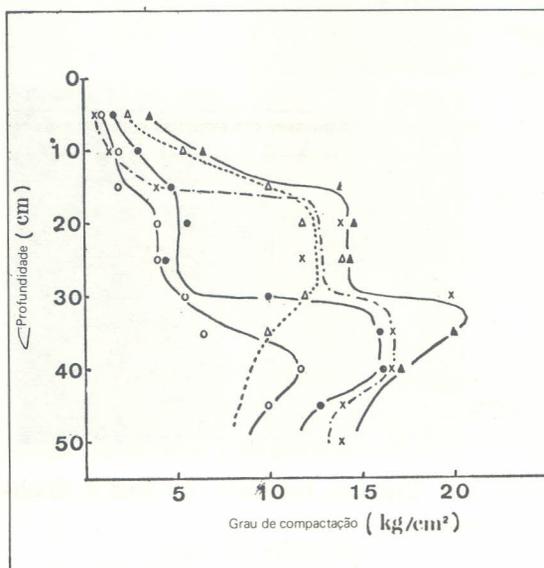


Figura 7. Dureza do solo LE.

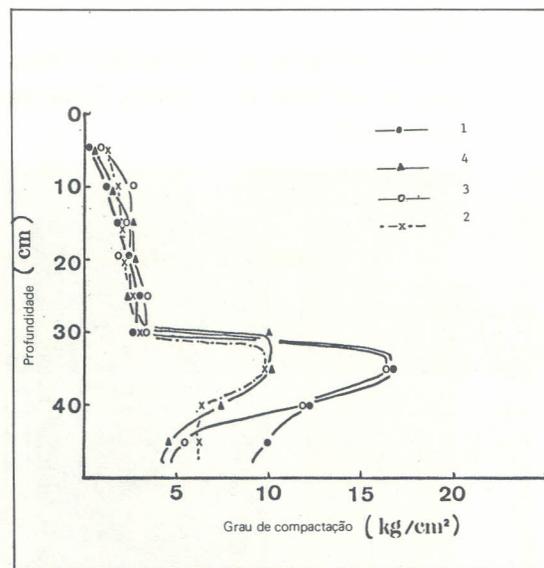


Figura 8. Dureza do solo LA.

TABELA 1. Percentagem de plantas com sistema radicular normal em solos de cerrado, aluvial e terra roxa.

Local	Estado	Propriedades	Tipo de Solo	Tempo de utilização do solo	Cultivar de soja	% das plantas com sistema radicular normal	Dia de armazenamento
1. Jataí	GO		LA	—		78.3.15	42
2. Coromandel	MG		LA	2		79.2.5	38
3. Paracatu	MG		LE	3		79.2.7	35
4. Araxá	MG	Nomurabrás	LE	1	Paraná	79.12.19	75
5. Araxá	MG	Nomurabrás	LE	2	Paraná	80.1.22	43
6. Planaltina	DF	CPAC	LA	1	IAC-2	79.2.14	86
7. Planaltina	DF	CPAC	LE	4	IAC-2	80.3.17	53
8. Cristalina	DF	Kimura	LA	2	—	80.2.2	17
9. Vargem Bonita	DF	Sonoda	Solo aluvial	8	IAC-2	80.4.3	92
10. Londrina	PR	CNP-Soja	Terra roxa	—	UFV-1	80.3.4	83
11. Londrina	PR	CNP-Soja	Terra roxa	—	UFV-1	80.3.5	55

TABELA 2. Anos de cultivo e percentagem de plantas com sistema radicular normal.

Anos de cultivo	% de raízes normais
1	96
2	100
3	58
4	45
5	30
6	47

TABELA 3. Resultados da análise do solo de São Gotardo

Ano de cultivo	Profundidade (cm)	pH (1:1)	AL-Sat. (%)	Ca++ + Mg++ me/100 ml	P (ppm)	K (ppm)	Mat. Org. (%)
Antes do cultivo	0-5	4,8	59	0,5	1,2	36	7,0
	5-15	4,9	34	0,5	0,6	30	5,2
	15-50	5,1	25	0,4	0,6	19	4,2
	30-50	5,1	tr.	0,5	0,9	14	3,4

Ano de cultivo	Profundidade (cm)	pH (1:1)	AL-Sat. (%)	Ca++ + Mg++ me/100 ml	P (ppm)	K (ppm)	Mat. Org.* (%)
1º ano	0-12	5,3	4	1,3	3,8	32	4,7
	12-22	5,0	14	0,6	2,2	28	4,8
	22-30	4,7	19	0,4	0,6	26	4,4
	30-40	4,3	8	0,6	0,5	20	4,0
	40-50	4,3	tr.	0,4	0,4	18	3,4
2º ano	0-15	6,4	tr.	4,5	4,5	22	4,6
	15-26	6,0	tr.	3,0	0,9	21	4,5
	26-30	5,3	3	0,7	0,4	18	3,5
	30-40	5,2	tr.	0,5	0,4	15	3,2
	40-50	5,0	tr.	0,4	0,4	15	2,9
3º ano	0-12	5,7	tr.	3,2	6,5	39	5,0
	12-25	5,4	1	1,7	0,9	22	4,6
	25-30	5,0	10	0,6	0,5	16	3,8
	30-40	5,1	14	0,4	0,4	16	3,4
	40-50	5,0	tr.	0,3	0,4	13	3,1
4º ano	0-12	5,4	tr.	2,4	4,4	34	5,1
	12-24	5,4	1	1,5	1,5	36	5,0
	24-30	5,0	1	0,7	1,5	25	3,9
	30-40	4,9	4	0,5	0,4	20	3,6
	40-50	4,6	5	0,4	0,4	17	3,3
5º ano	0-13	5,5	tr.	3,0	12,0	28	5,5
	13-23	5,2	9	0,9	0,7	23	4,2
	23-30	5,0	3	0,6	0,4	19	3,7
	30-40	5,0	8	0,5	0,4	14	3,4
	40-50	5,1	tr.	0,6	0,5	12	2,8
6º ano	0-8	6,7	tr.	4,6	10,6	33	5,2
	8-18	6,1	tr.	3,6	2,4	41	5,0
	18-30	5,5	tr.	1,7	0,4	25	4,0
	30-40	5,2	tr.	0,8	0,4	15	3,7
	40-50	5,1	tr.	0,6	0,4	13	3,3

* Terra seca

TABELA 4. Características químicas do solo em terra roxa e aluvial, média de três repetições.

Local	Profundidade (cm)	pH (1:1)	Al-sat. (%)	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ me/100 ml	P (ppm)	K (ppm)	Mat. Org.* (%)
Londrina-A	0-18	5,2	2	6,4	12,3	115	3,5
	18-25	5,8	tr.	7,6	1,0	46	2,4
	25-40	5,9	tr.	5,5	0,9	35	2,0
	40-50	5,6	tr.	4,8	1,0	26	1,8
Londrina-B	0-11	5,6	tr.	7,0	20,0	141	4,0
	11-17	5,7	tr.	7,4	1,0	154	3,9
	17-30	5,8	tr.	5,5	0,6	89	2,4
	30-40	6,1	tr.	4,3	0,7	32	1,9
	40-50	6,1	tr.	4,6	1,1	24	1,9
Vargem Bonita	0-30	6,4	tr.	8,8	183,4	58	4,5
	30-40	4,8	15	2,3	2,8	91	4,2

* Terra seca

TABELA 5. Quantidade de corretivos, fertilizantes e tipos de cultura utilizadas nos diferentes anos de cultivo em São Gotardo.

Anos de	Ano de	Calcário	Calcário	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cultura
kg/ha									
1	1978	2.000		600	150	16	104	40	Soja
	1977	2.000		500					
2	1978	2.000			150	16	104	40	Trigo
	1979					7	112	56	Soja
	Total	4.000		500	150	23	216	96	
3	1977	3.000		1.500		12	78	30	Soja
	1978	2.000				12	78	30	Soja
	1979					7	112	53	Soja
	Total	5.000		1.500		31	268	113	
	1976	3.000		1.500		12	78	30	Soja
	1977	2.000				12	78	30	Soja

Anos de cultivo	Ano de aplicação	Calcário	Calcário dolomítico	kg/ha			P ₂ O ₅	K ₂ O	Cultura
				P	K	N			
4	1978					14	91	35	Soja
	1979					7	112	53	Soja
	Total	5.000		1.500		45	359	148	
	1975	3.000		1.500		11	73	28	Soja
5	1976					11	73	28	Soja
	1977					13	83	32	Soja
	1978	2.000				12	78	30	Soja
	1979					12	78	30	Soja
	Total	5.000		1.500		6	102	51	Trigo
	1973		2.000	1.000					
	1974		2.000						
	1975		2.000			6	54	30	Soja
	1976					12	78	30	Soja
						16	104	40	Trigo
6	1977					12	78	30	Soja
						14	91	35	Trigo
	1978		3.000			12	78	30	Soja
						14	91	35	Trigo
	1979					6	96	45	Soja
Total		9.000	1.000		92	670	275		

TABELA 6. Número de tratamento, profundidade, quantidade de superfosfato triplo e calcário dolomítico.

Tratamento n ^o	Profundidade (cm)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	Calcário dolomítico (t/ha)
1	0 - 15	400	1
	15 - 30	400	1
2	0 - 15	400	2
	15 - 30	400	0
3	0 - 15	800	1
	15 - 30	0	1
4	0 - 15	800	0
	15 - 30	0	0
5	0 - 15	800	0
	15 - 30	0	1

OBS.: No tratamento 5 a camada inferior não foi removida.

TABELA 7. Percentagem de plantas com armazenamento normal nos solos LE e LA.

Tratamento	LE	LA
	%	
1 (A)	88	95
2 (D)	67	90
3 (C)	52	82
4 (B)	54	70
5 (E)	53	—

TABELA 8. Características químicas dos Latossolos vermelho escuro, média de três repetições. Área experimental do CPAC.

Solo	Profundidade (cm)	pH (1:1)	Al-sat. (%)	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ me/100 ml	P (ppm)	K (ppm)	Mat. Org. (%)
LE							
Tratamento 1	0-15	5,4	6	1,6	82,3	100	2,7
	15-30	5,1	32	0,7	22,2	32	2,6
Tratamento 4	0-15	5,5	tr.	2,8	89,8	55	nd
	15-30	4,8	62	0,6	1,3	29	nd
Tratamento 3	0-15	5,3	12	2,0	46,2	46	nd
	15-30	5,2	28	1,4	2,3	28	nd
Tratamento 2	0-15	5,4	tr.	2,9	89,9	61	nd
	15-30	4,8	57	0,7	28,3	23	nd
Tratamento 5	0-15	5,4	3	2,8	80,3	44	nd
	15-30	4,6	68	0,4	1,8	26	nd
LA							
Tratamento 1	0-15	5,7	4	2,3	40,3	54	4,2
	15-30	5,8	3	2,2	8,3	26	3,8
Tratamento 4	0-15	5,5	1	2,2	17,2	39	nd
	15-30	5,1	22	0,8	0,4	43	nd
Tratamento 3	0,15	5,5	6	1,8	39,3	70	nd
	15-30	5,7	tr.	1,6	0,5	42	nd
Tratamento 2	0-15	5,4	8	1,8	25,4	45	nd
	15-30	5,1	27	0,7	7,1	29	nd

* Terra seca