

ESTUDO DO SISTEMA RADICULAR DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris*, L.), Var. CARIOCA

LUIS ALBERTO AVILAN ROVIRA

Engenheiro-Agrônomo - Mestre

Centro Nacional de Investigaciones Agropecuárias - Venezuela

Orientador: Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

**Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Doutor em Solos e
Nutrição de Plantas.**

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
- 1975 -

Aos meus pais (In memoriam)

Aos meus irmãos

OFEREÇO

A minha esposa Elsa
e filhos Ana Carolina
Luis Alberto
José Luis

DEDICO

Aos Engenheiros-Agrônomos

Dr.^S Coaracy Franco e Romeu Inforzatto,
pioneiros no Brasil dos estudos sobre
sistema radicular, nosso

RECONHECIMENTO

A G R A D E C I M E N T O S

Desejamos expressar os nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, principalmente

- Ao Dr. André Martin Louis Neptune , Professor Titular, Chefe do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Chefe da Divisão de Ciência do Solo, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pela orientação deste trabalho e inestimáveis conselhos.
- Ao Eng^o-Agr^o, MS , Takashi Muracka , Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, no Setor de Fertilizantes e Fertilidade, pela indispensável colaboração prestada durante o decorrer deste trabalho.
- Ao Sr. Osmar Ferraz de Paula e a Srta. Marileuza Aparecida Bassi , Técnico e Auxiliar de Laboratório respectivamente, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela cooperação das análises efetuadas.
- A Srta. Maria Elisabeth Ferreira de Carvalho, pela revisão das referências bibliográficas.

Ao Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias da República da Venezuela, que autorizou a realização de meus estudos de Pós-graduação.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universida de de São Paulo, pela oportunidade de aperfeiçoamento concedida.

Í N D I C E

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 - Impedimentos Físicos do Solo	4
2.2 - Aeração do Solo	8
2.3 - Umidade do Solo	9
2.4 - Temperatura do Solo	11
2.5 - Estado Nutricional e Desenvolvimento Radicular .	12
2.6 - Reação do Solo	15
2.7 - Interações entre as Plantas Cultivadas	16
2.8 - Práticas Culturais	17
2.9 - Métodos de Estudo	18
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 - Variedade	22
3.2 - Descrição do Local do Experimento	22
3.3 - Descrição Morfológica do Perfil do Solo	22
3.4 - Análises Mecânica e Física do Solo	23
3.5 - Análises Químicas do Solo	23
3.6 - Área do Ensaio	24
3.7 - Preparo do Solo	24
3.8 - Adubação Empregada e Forma de Aplicação	24
3.9 - Semeadura	24

	Pág.
3.10 - Análises Químicas das Plantas	25
3.11 - Determinação da Radioatividade das Amostras ...	25
3.12 - Precipitação e Temperatura Média Diária no Decorrer dos Experimentos	26
3.13 - Métodos de Estudos	28
3.13.1 - Estudo do potencial radicular	28
3.13.2 - Método com radioisótopos ou elemento marcado	29
3.13.2.1 - Experimentos no campo	31
3.13.3 - Método da colheita de amostras por sonda	33
3.13.4 - Método do monolito	34
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 - Análises Física e Mecânica do Solo	36
4.2 - Análises Químicas do Solo	36
4.3 - Descrição Morfológica do Perfil do Solo	39
4.4 - Morfologia do Sistema Radicular	40
4.5 - Método do Monolito	44
4.6 - Método do Elemento Marcado	51
4.7 - Método da Sonda	58
4.8 - Relação Parte Aérea/Sistema Radicular ou Aérea/Radicular	58

	Pág.
4.9 - Comentários Sobre os Resultados Obtidos Pelos Métodos Estudados	62
5 - CONCLUSÕES	69
6 - RESUMO	71
7 - SUMMARY	73
8 - BIBLIOGRAFIA CITADA	75

1 - INTRODUÇÃO

Os estudos sobre desenvolvimento e distribuição radical são de grande valor prático. A quantidade de nutrientes e água absorvidos pelas raízes do feijoeiro está na dependência da extensão, distribuição e atividades das mesmas. Essas características do sistema radicular são por sua vez influenciadas pelas condições físicas e químicas do solo. Assim, antes de dar soluções a alguns problemas como preparo do solo, método de aplicação de adubos, quantidade e aplicação da água da irrigação, tipo de cultivo é de grande importância o conhecimento da forma e posição que as raízes tomam devido às propriedades do solo em que se desenvolvem, como também as características genéticas da variedade.

O presente trabalho tem como objetivos obter:

- a - Potencial radicular do feijoeiro em condições controladas;
- b - Caracterização em condições de campo, da distribuição radicular do feijoeiro adubado e não adubado e variações na distância de plantio;
- c - Comparação de alguns métodos convencionais e com radioisótopos no estudo desta caracterização.

A importância econômica da cultura de um lado (FRANCO, 1972) e o pequeno número de estudos básicos sobre sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil, de outro, justificam a presente contribuição.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A conformação do sistema radicular do feijoeiro tem sido descrito em forma geral por vários autores. LEON (1968) o descreve com as seguintes características.

"O feijão ao germinar desenvolve uma radícula cônica, com numerosas ramificações laterais. Este sistema se mantém durante toda a vida da planta. A raiz central emite numerosas radículas laterais algumas das quais se desenvolvem tanto quanto aquela. Há raízes adventícias que brotam da parte inferior do hipocotilo".

No Brasil, os trabalhos pioneiros foram efetuados por INFORZATO & MIYASAKA (1963) e INFORZATO (1964). No primeiro trabalho, estes pesquisadores estudaram o sistema radicular da variedade Creme, em solos Massapé (Podzólico vermelho-amarelo) e arenito de Bauru (Podzolizado de Lins e Marília). Verificaram que, durante o florescimento das plantas, cultivadas no solo Massapé com 64 dias de idade, 74,5% das raízes encontram-se nos primeiros 10 cm de profundidade e quase a totalidade até 20 cm.

Quanto às plantas cultivadas em solo arenito de Bauru, com 46 dias de idade, durante o mesmo período vegetativo, 87,4% das raízes encontraram-se nos primeiros 10 cm de profundidade e quase a totalidade até 20 cm.

Em solos aluviais da série Quati, descrita por VERDADE et al (1961), irrigados por elevação do lençol da água, INFORZATO (1964) estudou o sistema radicular da variedade Mulatinho, no início do florescimento.

Os resultados mostram que 62% das raízes do feijoeiro encontram-se nos primeiros 10 cm de profundidade e o restante até 70 cm.

A conformação do sistema radicular de uma planta depende em primeiro lugar da sua constituição genética. Em condições favoráveis, uma planta pode desenvolver o seu sistema radicular característico, porém, em condições adversas, haverá sensíveis alterações na maneira de distribuição das raízes.

HARDY (1974) define o espaço radicular como o volume de solo que possui características convenientes para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular das plantas. Este é limitado lateralmente pela distância entre plantas e verticalmente pelos impedimentos do solo.

Considera-se que todos os atributos físicos do solo, tais como densidade aparente, textura, agregação, distribuição de poros segundo o seu diâmetro, influenciam o desenvolvimento das plantas através dos seus efeitos sobre:

- 1) a dificuldade da germinação e restrição à elongação e expansão radicular;
- 2) o arejamento do solo;
- 3) a umidade do solo; e
- 4) a temperatura do solo.

2.1 - Impedimentos Físicos do Solo

Entre os fatores que ocasionam dificuldades na penetração das raízes de uma planta, pode-se assinalar a compacidade do solo. Dá-se o nome de compacidade ao arranjo ou agrupamento cerrado das partículas que um solo apresenta (GROHMANN, 1972). Num perfil de solo em função de processos pedogenéticos (camadas adensadas) ou decorrente do seu manejo (camadas compactadas), podem aparecer camadas com graus diferentes de compacidade, as quais limitam a penetração das raízes e restringem o movimento da água e do ar ao longo do perfil.

A maior compacidade de uma camada é decorrente do maior volume da matéria sólida por unidade de volume e uma porosidade menor do que as camadas adjacentes.

WINTERS & SIMONSON (1951) descreveram as principais características das camadas compactadas e adensadas.

WIERSUM (1957) provou que a capacidade de penetração radicular está diretamente relacionada com o diâmetro das raízes. Estas entram numa determinada camada do solo, com estrutura porosa rígida, se o seu diâmetro for menor que o dos respectivos poros. Quando acontece o contrário, a impossibilidade de penetração das raízes finas traduz-se no aparecimento sobre a camada do solo resistente, de um rendilhado de raízes que se mostram muito divididas, grossas e com epiderme rugosa, devido a impasse no crescimento.

Verificou ainda aquele pesquisador que, às vezes, há penetração das raízes em uma camada com poros de diâmetro inferior àquele das raízes. E que estas podem forçar a sua entrada, empurrando e des-

viando para os lados as partículas que obstruem o caminho. Além do mais, observou que para a mesma compactidade, ou seja para a mesma porosidade, a penetração das raízes era mais fácil se a areia tivesse sido colocada em tubos de maior diâmetro. Esses estudos mostram como a rigidez dos poros é ampliada pela compactidade, e também um fator que governa o crescimento radicular.

NASH & BALIGAR (1974) em condições controladas observaram que o máximo crescimento radicular da sola (*Glycine max* L. - MERRILL) ocorreu quando existia uma combinação de 25% de argila, 25% de limo e 50% de areia. A argila entre os grãos de areia reduz a resistência ao deslocamento desta, o que permite a elongação radicular. A argila funciona como separador e lubrificante dos grãos de areia. Porém, em condições naturais, os solos apresentam agregados ou estruturas compostas que complicam o mecanismo da elongação radicular. Estas unidades estruturais variam grandemente em estabilidade, dependendo da natureza do material de cimentação. Como exemplo, nos latossolos roxos, este material de cimentação é a hematita (HARDY, 1974).

GREACEN et al. (1969) assinala que a alta resistência oferecida por uma camada no perfil pode impedir o crescimento vertical de muitas raízes; simultaneamente a alta resistência da unidade estrutural podem impedir o crescimento das raízes laterais.

ZIMMERMAN (1961), estudando a restrição do desenvolvimento das raízes em camadas compactadas de solo, cita como fatores limitantes a falta de nutrientes e água disponíveis e as relações água-ar, assinalando que o suprimento do oxigênio na camada compactada não é o

fator limitante para a penetração e desenvolvimento radicular. DAY (1952) por sua vez, assinala que modificações da estrutura do solo influenciam a difusão do oxigênio afetando o desenvolvimento radicular.

LOWRY et al. (1970) menciona como principal fator limitante a restrição do fornecimento da água nas camadas compactadas, a qual afetou e reduziu a produção do algodoeiro. SCHUURMAN (1974) chegou às mesmas conclusões trabalhando com aveia.

YANG (1970) observou que a compactidade do solo diminuiu o peso, não somente do sistema radicular, como também da parte aérea, havendo uma redução em 50% da produção considerada normal.

A profundidade efetiva, que vem a ser aquela a qual penetram as raízes, representa um dos fatores determinantes da produtividade de dos solos.

A caracterização das camadas de impedimento da penetração radicular pode ser feita pela determinação da massa específica aparente. VEIMMEYER & HENDRICKSON (1948), trabalhando em várias unidades de solos compactados artificialmente, encontraram valores críticos para a massa específica aparente (D_a), para a penetração radicular do girassol, 1,7 a 1,8 para arenoso; 1,6 para limosos e 1,5 para argilosos. A penetração do sistema radicular nunca existia em camadas de solos com densidade aparente superior a 1,90 em qualquer solo.

GROHMANN (1966) em amostras de solos Latossolo Roxo e Podzólico vermelho compactados artificialmente onde foi plantado arroz, observou que não houve desenvolvimento do sistema radicular das plantas quando a massa específica aparente era de 1,42 e 1,38 respectiva-

mente para os solos antes citados ; assinalando a rigidez dos poros como fator responsável.

SHARMA & SINGH (1969) em solos compactados artificialmente nos quais o milho foi cultivado, encontrou que a D_a de $1,8 \text{ gr/cm}^3$ causa o máximo impedimento, sendo o crescimento radicular significativamente pequeno quando comparado com as densidades $1,7$ e $1,6 \text{ gr/cm}^3$.

TAYLOR (1964) assinala que para valores não críticos da massa específica aparente a dificuldade mecânica de penetração das raízes pode ser devida ao aumento da tensão de água no solo, sendo que a impedância mecânica surge como fator associado e não por si mesma.

O emprego do penetrômetro, aparelho que mede a resistência do solo à penetração do mesmo, é outro dos métodos empregados. RUSSELL (1974) mostra que as medidas realizadas por este aparelho devem somente ser empregadas como uma comparação e não como uma medida absoluta das forças que experimentam as raízes na sua penetração no solo.

YANG (1970) , para cana-de-açúcar, verificou uma compacidade crítica entre 20 e 25 kg/cm^2 , em solos derivados de arenito e folhelho incluindo solos de texturas diferentes, desde arenosa até argilosa.

REUMERINK (1973) para asparrago situou a compacidade crítica a 30 kg/cm^2 , em solos da ordem Entisol , de textura barrento arenoso.

2.2 - Aeração do Solo

O arejamento do solo é indubitavelmente um fator importante no desenvolvimento das plantas. A porosidade está dependente da grandeza das partículas primárias e secundárias e do modo como estão agrupadas. A quantidade e composição dos constituintes gasosos encontrados no solo estão intimamente relacionados com o desenvolvimento vegetativo. Pode-se dizer de um modo geral, que o estado físico do solo comanda a atividade e a quantidade de massa gasosa, enquanto que as atividades químicas e biológicas comandam essencialmente a sua composição.

O movimento da massa gasosa é originado por diferenças de pressão, com origem nos componentes do solo, ou da atmosfera, ou pelas diferenças da própria composição desta. No primeiro caso, intervêm as atividades físicas (aspectos da evaporação, mudanças de temperatura, e outras) e no segundo, a atividade respiratória dos seres vivos e as reações químicas com libertação de certos gases e consumo de outros.

Assim, enquanto normalmente, na atmosfera do ar existe, em volume 0,03% de CO₂ e 20,96% de oxigênio, RUSSELL (1964) verificou que na atmosfera do solo a 15 cm de profundidade correspondem respectivamente 0,25% de CO₂ e 20,6% de oxigênio. Esta composição varia com a nitrificação, teor em água, atividade vegetativa e outras, com as estações do ano e com a profundidade do solo. Na ausência de quantidades suficientes de oxigênio, predominam as reações anaeróbicas com a formação a formação de elevadas quantidades de compostos reduzidos, com influência na disponibilidade dos nutrientes e no pH do solo.

Além destas influências indiretas sobre o desenvolvimento das plantas, o arejamento influi diretamente em ligação com a atividade respiratória das raízes. RUSSELL (1952) verificou que o desenvolvimento radicular de muitas espécies é inibido quando a concentração de oxigênio está acima de 10% , desde que a temperatura não exceda os 30°C . Contudo, as espécies mantêm um crescimento reduzido mesmo para os teores de 0,5% de oxigênio, desde que o teor em CO₂ existente no meio não exceda 30% a 50% e aquele teor mínimo de oxigênio seja mantido somente em certos períodos.

DASBERG (1970) encontrou boa correlação (r: 0,82) entre aeração do solo e produção de matéria seca de feijão ; outrossim assinalou que a penetração e distribuição radicular foi igualmente afetada por uma pobre aeração. LEGARDA (1972) citado por COLMENARES (1974) assinala que o espaço poroso adequado para a cultura do feijão deve ser superior a 20% .

2.3 - Umidade do Solo

O conteúdo de água ou teor de humidade do solo é um dos fatores que mais afetam o crescimento radicular. A água não afeta diretamente as raízes como mostra o seu vigoroso crescimento em soluções nutritivas bem aeradas, porém, um excesso de água no solo desloque o ar do espaço poroso não capilar e produz uma deficiência de oxigênio que provoca a morte de muitas raízes (KRAMER, 1974).

MAGALHÃES (1972) estudando a germinação do feijão sob condições variadas de pressão osmótica, observou que acima de 3,5 atmosferas, reduziram drasticamente a germinação e o desenvolvimento das raízes, demonstrando indiretamente a grande sensibilidade do feijoeiro às condições de falta de água.

MENEZES & PINTO (1967) estudando a influência da umidade do solo sobre o feijoeiro concluíram que as melhores produções foram obtidas quando a umidade do solo permanecia em torno da capacidade de campo. Os excessos e as deficiências mostraram-se prejudiciais aos rendimentos, permitindo aos autores concluir que estes ficam na dependência da disponibilidade hídrica no solo.

EL NADI (1969) estudou os efeitos da tensão hídrica no crescimento e florescimento do feijoeiro, concluiu que na fase do florescimento as plantas mostraram-se mais sensíveis a seca do que na fase vegetativa.

BENNET & DOSS (1960) verificou que o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular varia em razão inversa da água do solo, desde que a água esteja por encima das condições mínimas para o crescimento. BULL (1963) estudou a modificação do sistema radicular em função da irrigação no cafeeiro. Os resultados mostram uma redução na penetração das raízes pivotantes e no desenvolvimento das raízes primárias e secundárias nos horizontes profundos do perfil do solo. Verificou também um incremento das raízes secundárias no sentido lateral e nos horizontes superficiais. O autor admite que o nível de irrigação empregado durante os dez anos foi excessivo. ROWE (1973) assinala

que, quando o teor de umidade excede a capacidade de campo, restringe-se o intercâmbio difusivo entre o solo e a atmosfera. Nestas condições, há uma redução do teor de oxigênio do solo e um aumento do teor em dióxido de carbono ; uma maior ou menor disponibilidade dos nutrientes do solo, mudanças no redox e do pH do solo, formação de substâncias tóxicas como nitritos, sulfeto de hidrogênio, etileno e outros, os quais inibem o desenvolvimento radicular.

2.4 - Temperatura do Solo

O efeito direto ou indireto da temperatura sobre o crescimento da planta inclui fatores tanto físicos como químicos e biológicos que podem afetar os processos de decomposição da matéria orgânica, absorção de nutrientes, de água e migração dos mesmos.

A temperatura do solo muda de acordo com a época do ano, hora do dia e profundidade, sendo maiores as variações das temperaturas máxima e mínima nos solos poucos profundos.

Com a variação térmica, ocorre uma maior movimentação da água no solo, a migração de sais solúveis é acelerada de modo geral com a elevação da temperatura até um máximo.

A temperatura é fator importante de crescimento, multiplicação e atividade dos microorganismos do solo ; assim as bactérias nitrificadoras microorganismos muito importantes ao desenvolvimento das plantas, tornam-se mais ativos a 35°C nos solos tropicais (ORTOLANI & PINTO, 1972).

A germinação e o desenvolvimento das plantas são igualmente afetados pela temperatura do solo. SING & MACK (1962) estudando o crescimento e a nutrição do feijoeiro a diferentes temperaturas do solo, encontraram que o melhor crescimento deu-se entre 24 e 30^oC . O peso da parte aérea e raízes, os conteúdos de P e K da parte aérea foram incrementados sob altas temperaturas do solo. Por outro lado, os conteúdos de N , Ca e Mg não variaram muito.

UNGER (1967) cultivaram o feijoeiro em soluções nutritivas a temperaturas que variavam de 10 a 32,5^oC . Observou estes pesquisador, que a temperatura inferior a 15^oC as raízes tiveram dificuldade em absorver água do solo, o que provocou o desenvolvimento de tensão hídrica nas plantas em prejuízo do seu crescimento.

Outros fatores como estado nutricional, reação do solo, interações entre as plantas, práticas culturais, podem também influenciar e modificar a distribuição do sistema radicular.

2.5 - Estado Nutricional e Desenvolvimento Radicular

De modo geral, o crescimento satisfatório da planta implica em um bom desenvolvimento radicular, este por sua vez, depende das características do meio que constitui o solo e da parte aérea ; da qual recebe seus elementos constitutivos (HENIN et al. 1972).

Pesquisas sobre a marcha da absorção e exigências minerais do feijoeiro tem sido feitas por GALLO & MIYASAKA (1961) ; HAAG et al (1967) e COBRA (1967 , 1971).

Nestes estudos observa-se que o nitrogênio foi o elemento absorvido em maior quantidade seguindo-se o potássio, o cálcio, o magnésio, o enxofre e o fósforo. COBRA (1967) constatou que o máximo de absorção dos macronutrientes se dá em torno dos 56 dias após a semeadura. A quantidade de absorção dos nutrientes varia em função dos estágios da planta, GALLO (1961) e HAAG (1967), assinalam que a maior demanda da planta em nitrogênio, potássio e cálcio, ocorre no período crítico da floração até o início da formação das vagens.

COBRA (1967) em plantas cultivadas, em soluções nutritivas, nos tratamentos com omissão de cálcio, mostravam pequenas quantidades de raízes. BURSTROM (1959) assinala que o cálcio é um promotor do crescimento radicular.

A absorção de nutrientes pelo sistema radicular pode ocorrer por três processos:

- a) intercepção pela raiz,
- b) fluxo massal, e
- c) difusão.

Considerando a contribuição relativa dos três processos no fornecimento de nutrientes para o milho, cultivado em um solo fértil de textura média. BARBER & OLSON (1968), mostraram que a maior quantidade dos macro e micronutrientes, são fornecidos com exceção do fósforo e do potássio, pelo fluxo massal. A difusão fornece as maiores quantidades do fósforo e de potássio. O cálcio por intercepção corresponde aproximadamente a 50% da quantidade fornecida pelo fluxo massal.

Isso indica que a solução do solo é a fonte imediata mais importante de nutrientes para a absorção radicular, assim como também, o comportamento dos elementos no solo.

Os elementos que são pouco ou nada adsorvidos, podem encontrar-se em concentrações relativamente altas na solução do solo (nitratos, sulfatos, cálcio, magnésio) ; por outro lado, aqueles que são adsorvidos (P e K) encontram-se na solução do solo em concentrações insuficientes. Os do primeiro grupo, são arrastados com a solução do solo e seu contacto com a raiz está ligada a absorção de água. Como a solução do solo é pobre, em P e K, então estes nutrientes não são fornecidos às raízes em quantidades suficientes ; nesse caso, a absorção é feita por difusão na superfície ou pelo contacto das raízes com as partículas sólidas do solo (HENIN et al. 1972).

Em geral, as raízes são classificadas quanto à função em:

- a - Raízes estruturais - as quais desempenham os papéis de fixação, transporte e de reserva, podendo ser: primárias e secundárias. O seu diâmetro considera-se em geral superior a 5 mm.
- b - Raízes absorventes ou finas - cuja função consiste principalmente na absorção de água e nutrientes e ser superfícies de ativa troca iônica. O seu diâmetro é inferior, pelo menos a 1 mm e estão abundantemente dotadas de pelos radiculares.
- c - Entre estes dois grupos encontra-se um terceiro, que são as raízes intermediárias, constituídas essencialmente por raízes que desempenham uma função de transporte (PORTAS, 1970).

A contribuição do sub-solo na nutrição do milho e aveia tem sido destacada no trabalho de LIESHOUT (1960), citado por WIERSUN (1967) evidenciando que as raízes situadas a 60 e 80 cm de profundidade representam 1,7% das raízes totais e correspondem a 9,2% do fornecimento de fósforo para aquelas plantas.

2.6 - Reação do Solo

GAMMON (1957) estudando o efeito do valor pH no crescimento radicular encontrou que a falta de cálcio era mais detrimental do que um valor pH baixo. WIND (1967) observou que a acidez não somente causa um peso radicular menor senão que afeta também o seu diâmetro.

PRATT (1966) assinala que os íons H^+ e OH^- não tem efeito depressivo direto no desenvolvimento das plantas. Assim no solo os efeitos prejudiciais da acidez são indiretos, na grande maioria dos casos induzindo uma série de condições prejudiciais às culturas como são, entre outros, à toxidez do alumínio e do manganês, a disponibilidade de nutrientes.

RORISON (1958) admite que o alumínio trocável em altas concentrações, satura as células livres do cortex inibindo o crescimento radicular. Isso é devido a que o alumínio retira o ferro-férrico do núcleo celular necessário ao processo da divisão celular, propiciando, ademais, a formação de excesso de pectina nas paredes das células novas ; fazendo com que percam a sua plasticidade. Segundo WRIGHT (1953) , o

alumínio precipita o fósforo na raiz interferindo no metabolismo normal do fósforo na planta.

FOY et al. (1967) em ensaios de campo com feijoeiro, constatou o desenvolvimento radicular diferente entre variedades na presença de alumínio.

A salinidade é caracterizada por dois aspectos únicos: baixo potencial osmótico e altas concentrações de sódio e de outros íons que podem ser tóxicos, tais como boreto, cloreto, sulfato, lítio. Sendo as raízes mais expostas ao meio salino, o seu desenvolvimento é paralisado, EPSTEIN (1975). Além do mais, há evidência de que altas concentrações de sal causam uma diminuição na permeabilidade das raízes diminuindo a velocidade de absorção de água e nutrientes (KRAMER, 1974).

2.7 - Interações entre as Plantas Cultivadas

As plantas quando crescem juntas, quer seja da mesma espécie ou de espécies diferentes, competem umas com outras por espaço; para a sua folhagem e para o seu sistema radicular. As espécies cultivadas foram selecionadas naturalmente através dos anos pela sua capacidade de resistir na competição com outras plantas da mesma espécie.

A competição pela luz sobre o solo não é sempre grave uma vez que as folhas de muitas plantas podem sintetizar carboidratos sob sombra moderada. Os fatores implicados na competição pelo espaço radicular compreende competição por nutriente por água nos períodos de seca,

porém, podem incluir também os compostos solúveis secretados pelas raízes de muitas espécies nas suas proximidades (RUSSELL, 1964).

KOLESNIKOV (1971) assinala, que o sistema radicular de algumas frutíferas (pêssego, por exemplo), evitam a zona ocupada pelas raízes das árvores vizinhas de variedades da mesma espécie ou usualmente aprofundam-se, embora elas livremente, se entrecruzam com as raízes de diferentes espécies. Por outro lado, os sistemas radiculares de muitas outras frutíferas se entrecruzam e muitas vezes crescem juntas.

BHAT & LEELA (1969) observaram que a densidade de plantio influenciou em uma marcada variação da produção total de raízes por unidade de volume do solo, assim como também na proporção de raízes finas e grossas, o qual sugere a grande utilização do espaço aproveitável nas plantações de alta densidade. Plantações cerradas contêm grande tendência a explorar camadas mais profundas do que quando são plantadas muito espaçadas. A quantidade de raíze (peso) por unidade de volume de solo, é incrementado com o aumento da densidade de plantio.

Por outro lado, o cálculo da quantidade de raízes principais produzidas por árvores decresce com o aumento da densidade de plantio.

2.8 - Práticas Culturais

Pesquisadores como WEAVER (1927) ; KNAVEL (1967) e DE ROO (1969) mostraram o efeito das práticas culturais, tais como cobertura morta, aplicação de herbicidas, adubação, mobilização do solo, sobre a distribuição do sistema radicular.

2.9 - Métodos de Estudo

Os métodos de estudo empregados no Brasil são basicamente três:

- 1 - Método do Monolito modificado por FRANCO & INFORZATO (1946), no que diz respeito ao tamanho do mesmo. Este método foi aplicado por INFORZATO & ALVARES (1957) ; INFORZATO et al. (1968) ; INFORZATO et al. (1964) ; GUIMARÃES (1973) ; GERMECK et al. (1950) ; INFORZATO & MASCARENHAS (1969) ; INFORZATO & CAMARGO (1973) ; INFORZATO et al. (1970) , e outros.

KRUTMAN (1956 , 1957) , por sua vez, modificou o método de FRANCO & INFORZATO (1946) , fixando a profundidade de amostragem em função da abundância radicular.

- 2 - O Método da Sonda empregado por MONTENEGRO (1960) ; e
- 3 - O Método com Radiosótoto aplicado por NEPTUNE et al. (1974)

KOLESNIKOV (1971) assinalou que o aspecto relevante do método do Monolito é a segurança na determinação das raízes finas existentes possibilitando a separação daquelas que são estranhas à planta em estudo ; além disso, permite a determinação da quantidade e distribuição de acordo com as camadas do solo e profundidade de penetração. Tudo isso permite obter uma informação detalhada da distribuição vertical das raízes no perfil do solo.

O método apresenta a grande vantagem de realizar o estudo do solo e do sistema radicular simultaneamente, facilitando o estabelecimento das relações entre estes componentes. Uma das maiores dificuldades

dades que o método apresenta, é o grande volume do solo que deve ser mobilizado, a dificuldade no manuseio dos monolitos para a separação das raízes do solo, exigindo tempo considerável para a sua realização, a fim de minimizar a perda do material em estudo. Em solos argilosos esta dificuldade de separação se acentua ainda mais (SCHUURMAN, 1971).

O método da Sonda foi usada primeiramente por VISSER (1943) citado por SCHUURMAN (1971). Sua aplicação tem como objetivo principal estudar a distribuição do sistema radicular realizado por tomada de amostras (solo e raízes) representativas das camadas do solo e não o estudo de todo o sistema.

Os métodos de estudo do sistema radicular tem sido objeto de limitadas pesquisas, existindo na atualidade seis métodos principais: o Método da Escavação, o Método do Monolito, o Método da Trincheira, o Método da Sonda, o Método com Radioisótopos e o Rhizotron. Convém frisar, porém, que a maior parte destes métodos sofreram modificações ou adaptações. Isso é devido a grande variabilidade de hábitos radiculares e das diversas condições do meio ambiente onde crescem as plantas.

Nos primeiros estudos do sistema radicular, efetuados por diferentes pesquisadores, convém destacar os trabalhos clássicos de WEAVER (1926), com o emprego do método da escavação, no estudo de frutíferas, e de WEAVER & BRUNER (1927) no estudo de várias plantas hortícolas, os quais foram amplamente difundidos.

Em comparação com o método do monolito, o método da sonda, apresenta menor trabalho físico e menor tempo na amostragem. Porém com respeito ao manuseio das amostras, apresentam as mesmas limitações.

O método da sonda implica em um maior conhecimento das características físicas e químicas dos solos para a interpretação dos resultados obtidos, apresentando a vantagem sobre o método do monolito de realizar um elevado número de repetições.

O método com radioisótopos, foi desenvolvido por HALL et al (1953), para medir a extensão do sistema radicular no solo em função do tempo em plantas de milho, fumo e amendoim. A técnica em linhas gerais, consiste em colocar no solo o radioisótopo a profundidades e distâncias laterais pré-determinadas da planta em estudo. Pela colheita de órgãos ou de planta inteira, pode-se determinar a atividade específica do elemento marcado ou a atividade total, partindo-se do princípio de que esta atividade é proporcional a absorção das raízes e da atividade das mesmas nas diferentes camadas do solo.

A dificuldade em medir a distribuição das raízes ativas no solo é um dos obstáculos nos estudos dos sistemas radiculares em condições de campo. Em geral, admite-se que correspondem a aquelas de diâmetro inferior a 1 mm, o qual não deixa de ser um parâmetro arbitrário. A absorção se realiza pelos órgãos novos, porém não fica excluída que certa absorção de água e nutrientes possa se fazer pelas raízes suberizadas (KRAMER, 1974).

A separação das raízes do solo nos métodos tradicionais, apesar dos cuidados tomados é uma fonte de erro na determinação quantitativa do sistema radicular, sendo isso eliminada mediante o método utilizando o elemento marcado.

LIPPS (1964) estudando a atividade radicular da alfafa em relação a umidade, temperatura e fornecimento de oxigênio, observou que a atividade radicular variava em função das condições antes citadas no perfil do solo. NEPTUNE et al (1974) , estudando o sistema radicular do cafeeiro determinou a variação da zona de maior absorção em função da idade das árvores de cinco, sete e nove anos de idade. Observou-se que o método permite a obtenção de uma informação muito mais precisa ou detalhada quando comparado com os outros métodos considerando que de acordo com WENT (1945) somente 10% do sistema radicular controla mais de 50% da taxa de crescimento.

De acordo com a revisão bibliográfica realizada pode-se constatar que o crescimento e desenvolvimento radicular é afetado por um grande número de fatores, os quais podem reagir de forma direta ou indiretamente sobre o mesmo. Isso evidencia a importância na seleção do método do estudo, o objeto de poder satisfazer os fins perseguidos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Variedade

A variedade empregada foi a "Carioca", planta de porte alto com hábito de crescimento indeterminado, pendão longo, ciclo vegetativo ao redor de 90 dias. Em observações de campo, destaquem-se os excelentes resultados obtidos pelos produtores da região com esta variedade ; tem proporcionado maiores índices de produtividade e maior resistência as moléstias (D'ARTAGNAN et al. 1971).

3.2 - Descrição do Local do Experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Areião, pertencente ao Departamento de Solos e Geologia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo. A Fazenda está localizada no Município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

O local do experimento apresenta um declive, de 1% , boa condição de drenagem, e relevo plano.

3.3 - Descrição Morfológica do Perfil do Solo

A descrição morfológica do solo foi realizada mediante abertura de um perfil até 2 m de profundidade na área experimental.

3.4 - Análises Mecânica e Física do Solo

Amostras do perfil do solo descrito, foram analisadas para a determinação das características físicas.

Os métodos empregados foram o da pipeta descrito por KILMER & ALEXANDER (1949) , para a análise granulométrica, as do picnometro e da parafina para determinar a densidade real e massa específica a parente respectivamente, descrito por RANZANI & KIEHL (1959).

A determinação da macro e microporosidade foi feita de acordo com o método descrito em SCARDUA (1972).

3.5 - Análises Químicas do Solo

Amostras compostas foram coletadas na área experimental para a determinação do nível de fertilidade.

Sobre a amostra composta foram determinadas: o valor pH no potenciômetro Beckman, utilizando-se a relação solo-água igual a 1:2,5. Matéria orgânica, através do método de WALKLEY & BLACK descrito em MALAVOLTA & COURY (1954). Nitrogênio total, pelo método de Kjeldahl descrito por JACKSON (1958). Fósforo solúvel e Potássio trocável de acordo com os métodos descritos por CATANI & JACINTHO (1974) . Cálcio e Magnésio trocáveis por espectrofotometria de absorção atômica utilizando o aparelho da marca EEL em extrato obtido segundo o método descrito em GLORIA et al (1965).

3.6 - Área do Ensaio

A área do ensaio foi de 1.200 m^2 (40 m x 30 m) sendo a metade adubada e a outra não adubada.

3.7 - Preparo do Solo

O preparo consistiu de uma aradura seguida de gradagem. Para a abertura de sulcos, com 8 a 10 cm de profundidade, utilizaram-se enxada e o sulcador "Planet".

3.8 - Adubação Empregada e Forma de Aplicação

A adubação foi realizada mediante aplicação de 125 kg de sulfato de amônio, com 20% de N (25 kg/N/ha); 500 kg de superfosfato simples, com 20% de P_2O_5 ($100 \text{ kg/P}_2\text{O}_5/\text{ha}$) e 50 kg de cloreto de potássio, com 60% de K_2O ($30 \text{ kg/K}_2\text{O/ha}$).

A aplicação foi realizada no fundo do sulco em faixas de 5 cm, e posteriormente cobertas com solo.

3.9 - Semeadura

A semeadura foi realizada manualmente, no dia 11 de novembro de 1974, usando a plantadeira Vulpini, Modelo C.E da Indústria Vulpini Ltda., nos sulcos adubados e não adubados, cobertos com terra.

3.10 - Análises Químicas das Plantas

A parte aérea das plantas coletadas foram secas em estufa a 65-70°C durante três dias, após o que foram pesadas e moídas no moinho "Wiley" com peneira de malha nº 20. Sobre o material obtido procedeu-se as análises químicas.

Pesaram-se 4 g os quais foram transferidos para cadinhos de porcelana e incinerados a 450°C durante seis horas. Uma vez esfriados os cadinhos, a cinza foi umedecida com água destilada e transferida para balões de 100 ml, e adicionou-se a cada um deles 5 ml de H₂SO₄ (1:2).

Posteriormente foi iniciada a digestão nitro-perclórica do material até que o extrato ficasse quase incolor. A seguir o conteúdo dos balões foi filtrado, sendo recebido em balões de 50 ml e completado o volume com água destilada.

No extrato nitro-perclórico determinou-se o fósforo pelo método de metavanadato, utilizando o fotocolorímetro Klett-Summerson, segundo a técnica descrita por LOTT et al (1956).

3.11 - Determinação da Radioatividade das Amostras

A determinação foi realizada a partir do extrato nitro-perclórico, sendo a atividade de cada amostra determinada através da radiação Cerenkov (WHITE & ELLIS, 1968 ; AWERBUCH & AVNIMELECH, 1970), utilizando um contador de cintilação líquida da Nuclear Chicago Corporation Serie 720 ; USA.

3.12 - Precipitação e Temperatura Média Diária no Decorrer dos Experimentos

Os dados de precipitação diárias e de temperatura média diária, encontram-se na TABELA 1 e foram fornecidos pelo Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo.

TABELA 1 - Temperatura média diária e precipitação diária no decorrer dos experimentos número 1, 2, 3 e 4.

Dia	Novembro		Dezembro		Janeiro	
	Temperatura média diária °C	mm.	Temperatura média diária °C	mm.	Temperatura média diária °C	mm.
1	--	--	25,3	8,8	19,5	13,2
2	--	--	24,4	5,5	21,4	--
3	--	--	19,9	--	21,3	--
4	--	--	17,4	6,4	22,3	--
5	--	--	17,6	22,5	22,9	--
6	--	--	20,7	--	23,2	2,9
7	--	--	21,1	--	22,5	--
8	--	--	21,9	--	25,0	--
9	--	--	23,9	--	25,0	3,8
10	--	--	23,5	30,0	25,0	37,8
11	23,5	--	21,1	--	25,2	19,9
12	23,9	5,5	25,0	--	24,5	14,5
13	23,1	3,2	23,3	95,7	23,2	1,5

continua ...

TABELA 1 - Continuação

Dia	Novembro		Dezembro		Janeiro	
	Temperatura média diária °C	mm.	Temperatura média diária °C	mm.	Temperatura média diária °C	mm.
14	23,9	--	20,7	3,1	26,5	3,0
15	22,2	--	21,4	--	25,0	19,5
16	22,0	--	22,9	6,9	26,8	7,9
17	22,3	--	22,3	11,5	26,2	--
18	25,5	--	21,4	12,6	26,5	0,4
19	28,8	--	20,1	0,3	22,0	0,5
20	27,2	--	23,4	--	--	--
21	22,9	23,7	22,3	48,5	--	--
22	20,5	57,8	23,1	14,4	--	--
23	21,2	2,9	23,2	9,0	--	--
24	25,1	--	24,8	7,1	--	--
25	27,1	--	25,1	--	--	--
26	28,2	--	26,1	--	--	--
27	21,8	68,1	26,4	--	--	--
28	22,1	0,8	23,9	9,8	--	--
29	25,5	--	22,9	13,9	--	--
30	23,7	11,0	16,5	8,8	--	--
31	--	--	21,6	17,4	--	--

3.13 - Métodos de Estudo

3.13.1 - Estudo do potencial radicular

O presente estudo foi realizado seguindo a metodologia proposta por YORKE (1970) . Sementes uniformes em peso, tamanho e sadias de feijão var. Carioca , foram postos a germinar em cápsulas de Petri com papel de filtro molhado. Três dias depois de germinadas, foram transferidas para os dispositivos (Diapositivo 1) , o qual consiste de dois vidros de 22 cm de altura e 36 cm de largura, separados por uma prancha de madeira de 3 mm de espessura, e, ainda, mantidos, verticalmente por um suporte de madeira. Um deles tinha uma camada de papel de filtro, coberto com pano de flanela, a qual foi riscada a cada 2 cm longitudinalmente e horizontalmente para facilitar as leituras. Colocadas as sementes na parte superior, adiante do pano, iniciou-se as observações através de fotografias cada 24 horas, com a finalidade de acompanhar o desenvolvimento radicular.

O fornecimento de água e nutrientes efetuou-se por meio de tiras de papel de filtro colocadas na parte superior do depósito já mencionado e mergulhadas em uma garrafa contendo uma solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950) , diluída a 1/10 da concentração normalmente empregada. Realizou-se a experiência em condições de laboratório, fazendo-se seis repetições.

3.13.2 - Método com radioisótopo ou elemento marcado

No presente estudo empregou-se a técnica desenvolvida por NEPTUNE (1974) *. Cápsulas de gelatina nº 000 fornecidas pela Lilly do Brasil, contendo papel de filtro moído e 0,3 ml de uma solução de fosfato de sódio ^{32}P com uma atividade de 300 micro curies, foram colocadas em seis pontos equidistantes em ambos lados das plantas com auxílio de uma prancha de marcação, de um perfurador de solo e um tubo condutor da cápsula (Diapositivo 2). A aplicação foi realizada no dia 22 de dezembro de 1974, quando as plantas estavam em plena floração e haviam se transcorrido 42 dias após a germinação. Depois da colocação das cápsulas, os buracos foram fechados, e as plantas marcadas com estacas numeradas.

As plantas tratadas e as adjacentes não tratadas, situadas antes e depois destas na mesma linha, e aquelas situadas nas linhas paralelas da planta tratada, foram cortadas aos 14 dias, após a colocação do radioisótopo (Veja-se Diagrama 1).

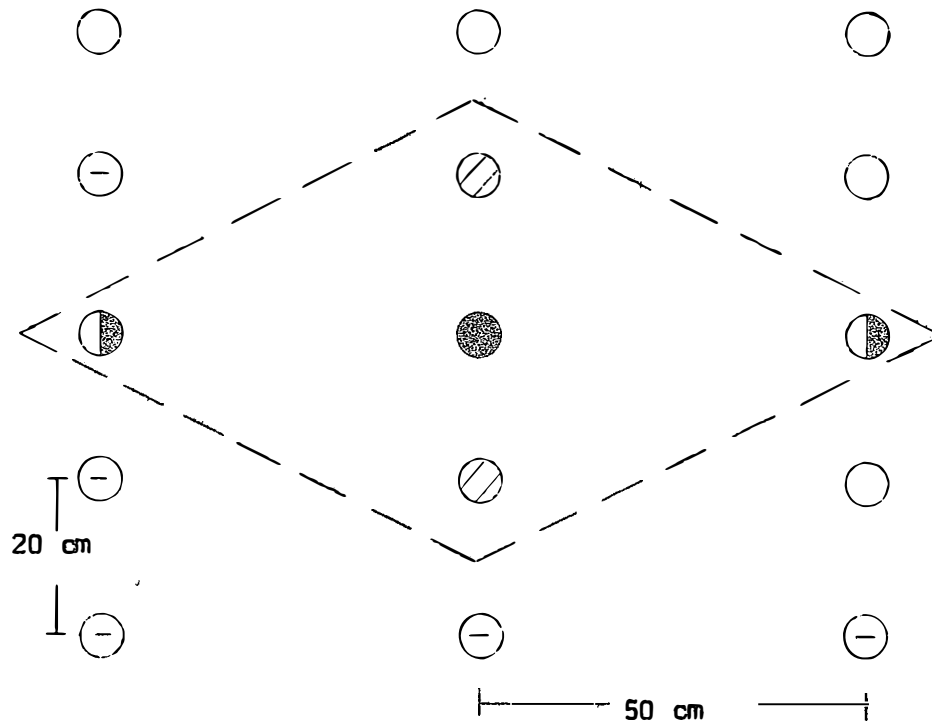
O número total de plantas coletadas foi de 576 nas quais determinou-se a altura, após o que as mesmas foram colocadas em estufa a 70°C , e as operações seguintes foram feitas como foi descrito em 3.9 e 3.10.

-.-.-.-

-.-.-.-

-.-.-.-

* NEPTUNE, A. M. C. - 1974 - Comunicação Pessoal



Legenda:





-  Planta tratada
-  Planta adjacente
-  Planta paralela
-  --- Limite da parcela

DIAGRAMA 1 - Parcela experimental empregada no método com radioisótopo

3.13.2.1 - Experimento no campo

Instalaram-se quatro experimentos.

Experimento 1

Localizado na parte adubada. Semeadura: 50 cm entre linhas e 20 cm entre planta. Cada parcela experimental (veja-se Gráfico I) foi uma planta rodeada de quatro plantas bordaduras. Os tratamentos constam do QUADRO I, os quais foram repetidos três vezes.

QUADRO 1 - Tratamentos do experimento 1 e 2

Numero de Tratamentos	Distância Lateral (cm)	Profundidade (cm)
1	10	10
2		20
3		30
4		40
5		50
6		60

7	15	10
8		20
9		30
10		40
11		50
12		60

13	20	10
14		20
15		30
16		40
17		50
18		60

19	25	10
20		20
21		30
22		40
23		50
24		60

Experimento 2

Semelhante ao anterior, porém, localizado na parte não adubada.

Experimento 3

Localizado na parte adubada. Semeadura: 100 cm entre linhas , 50 cm entre plantas. Cada parcela experimental constituída de uma planta rodeada de quatro plantas bordaduras. Os tratamentos constam do QUADRO 2, os quais foram repetidos três vezes.

QUADRO 2 - Tratamentos dos experimentos 3 e 4

Número de Tratamentos	Distância Lateral (cm)	Profundidade (cm)
1	35	10
2		20
3		30
4		40
5		50
6		60

7	45	10
8		20
9		30
10		40
11		50
12		60

13	55	10
14		20
15		30
16		40
17		50
18		60

Experimento 4

Igual ao anterior, porém, peso localizado na parte não adu
bada.

3.13.3 - Método da colheita de amostra por sonda

Consiste em introduzir no solo uma sonda circular de dimensão
variável que colhe uma amostra de solo com raízes da planta em estu
do. A localização da zona de colheita depende, entre outros fatores ,
do tipo de planta, da técnica cultura, natureza do solo (FORD, 1952 ;
HAAS et al., 1958).

Utilizou-se um tubo metálico de 8 cm de diâmetro e 15 cm
de altura. Amostras de solo contendo raízes foram retiradas e coloca-
das em sacos de plástico devidamente etiquetados. As covas foram loca
lizadas lateralmente de 0 a 10 , 10 a 20 e 20 a 30 cm , respectivamen-
te da planta amostrada.

As profundidades de amostragem foram para cada distância
lateral de 0 a 15 , 15 a 30 e 30 a 45 cm respectivamente.

As amostras em número de 72 foram transportadas para um lo
cal onde as raízes foram separadas da terra usando o mesmo processo usa
do no método do monólito.

Foram feitas duas séries de amostragens para cada planta ,
utilizando-se como representativo da amostra, a média dos pesos das raf
zes de locais idênticos, porém opostos em localização.

O método foi aplicado na parte adubada do solo em quatro plantas selecionadas ao azar.

3.13.4 - Método do monólito

O método descrito por KOLESNIKOV (1971) , consiste na escavação total ou parcial do sistema radicular de uma planta ; pela remoção gradual de pequenos monólitos de solo, seguida da determinação do peso das raízes contidas em cada um deles.

No experimento de campo, foi feita uma escolha ao acaso de duas fileiras de plantas, na parte adubada e não adubada, com espaçamento de 50 cm entre linhas e 20 cm entre plantas. Das mesmas, cinco plantas consecutivas foram utilizadas para cada amostra (Diapositivo 3) .

Perfis de 1,50 m de largura e 1,80 m de profundidade foram abertos a 40 cm de cada fileira. Coletaram-se monólitos de 10 cm de largura por 15 de comprimento, sendo a altura estabelecida em função dos horizontes do perfil.

Os blocos em número de 320 , foram removidos com auxílio de pás, martelo e sachos , foram transferidos para sacos de plástico etiquetados, conduzidos ao local de lavagem. Cada monólito foi submetido a um período de imersão em água por quatro dias. A seguir, foram colocados em peneiras (2 mm) e tratados com água corrente a pequena pressão.

As raízes colhidas depois de secas foram pesadas.

Fizeram-se para cada perfil distâncias laterais de amostragens de 30 a 15 ; 15 a 0 ; 0 a 15 e 15 a 30 cm respectivamente da linha das plantas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Análises Física e Mecânica do Solo

Os resultados encontram-se na TABELA 2 . Como pode-se verificar trata-se de um solo de textura barro-argilo arenoso na camada superficial e argiloso nas camadas mais profundas. A massa específica aparente e densidade real apresentam os valores mais elevados ($1,35 \text{ g/cm}^3$ e $2,71 \text{ g/cm}^3$, respectivamente) na camada superficial, diminuindo nas camadas inferiores.

4.2 - Análises Químicas do Solo

A interpretação dos dados analíticos foi realizada segundo os critérios fixados por CATANI & JACINTHO (1974) e por GARGANTINI et al (1970).

Os resultados obtidos encontram-se na TABELA 3 . O valor pH situa-se entre 5,95 na camada superficial a 6,30 mais profunda, indicando acidez fraca. Os valores de alumínio trocável são baixos em todo o perfil. O fósforo apresenta valor baixo, sendo que o potássio , cálcio e magnésio trocáveis apresentam valores altos nas diferentes profundidades amostradas. Quanto a matéria orgânica e o nitrogênio os valores são considerados médios.

TABELA 2 - Análises física e mecânica das amostras do perfil

Profundi- dade (cm)	Hori- zonte	Distribuição do tamanho das partículas (Método da Pipeta)			Massa espe- cífica apa- rente (Da)	Densida- de real (DR)
		Areia	Limo	Argila		
		0 - 15	Ap	43		
19 - 35	B ₁	31	28	41	1,27	2,65
35 - 90	B ₂₁	21	16	63	1,16	2,52
90 - 129	B ₂₂	20	15	65	1,14	2,51

Observação:

As análises foram realizada no Departamento de Solos e Geo -
logia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universi-
dade de São Paulo.

TABELA 3 - Análises químicas da amostra composta do solo do local do experimento

Profun- didade (cm)	% de Humi- dade	pH em H ₂ O	% de Matéria Orgânica	% de N	m. eq/100 g de Solo					P em ppm
					Total	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	
0 - 20	17,48	5,95	1,96	0,10	0,58	5,49	1,10	0,16	3,42	8,60
20 - 40	19,68	6,25	1,20	0,08	0,39	4,73	1,23	0,15	3,01	3,79
40 - 60	24,89	6,30	1,60	0,06	0,13	4,52	1,30	0,08	3,00	2,82

Observação: As análises foram realizadas no Setor de Fertilidades e Fertilizantes do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).

4.3 - Descrição Morfológica do Perfil do Solo

Foi realizada em uma trincheira aberta até dois metros no meio da área experimental (*).

Descrição dos Horizontes

- Ap 0 - 19 cm barro-argilo-arenoso. Bruno avermelhado (5 YR 4/3; 3/4 úmido), granular, pequenos blocos, ligeiramente duro ; muito friável, plástico, pegajoso ; raízes finas abundantes, galerias biológicas finas, comuns ; pequenos carvões, raro, transição plana, clara.
- B₁ 19 - 35 cm argiloso, vermelho escuro (2,5 YR 3/6 ; 3/4 úmido) acumulações orgânicas pequenas, distintas, comum (5 YR 4/3) ; estrutura blocos subangulares ; pequenas, forte, duro, friável ; plástico, muito pegajoso, cerocidade, forte, raízes finas ; galerias biológicas finas ; pequenos carvões, transição plana.
- B₂₁ 35 - 90 cm argiloso, vermelho escuro (2,5 YR 3/6 ; 3/6 úmido), pequenas acumulação, diferente bruno (5 YR 4/3), estruturas blocos, subgulares ; médios a muito forte, duro, friável, muito plástico, muito pegajoso ; cerocidade abundante ; poucas raízes finas ; pequenas galerias biológicas, pequenos carvões ; transição difusa.

-.-.-.-.-

-.-.-.-.-

-.-.-.-.-

(*) A classificação do solo e a descrição do perfil foram feitas pelo Eng^o-Agr^o J. E. S. Pessotti.

B₂₂ 90-129 cm argilosa ; vermelho escuro (2,5 YR 3/6 ; 3/6 úmido) ; estrutura blocos subangulares ; médio a muito forte ; duro, friável, plástico, muito pegajoso ; cerocida - de ; abundante, forte (2,5 YR 3/4) ; galerias biológicas finas ; poucos, presença de seixos de quartzo de menor de 4 mm de diâmetro, formando uma linha difusa na parte superior deste horizonte.

O solo pertence ao Grande Grupo denominado Terra Roxa Estru- turada (TRE) ; à ordem ALFISOLO , segundo a 7^a Aproximação.

4.4 - Morfologia do Sistema Radicular

Na morfologia inicial do sistema radicular do feijoeiro (FIGURAS 1 e 2) pode-se observar que o sistema radicular é constituído pela raiz principal e ramificações laterais. Durante o seu desenvolvi- mento podem-se mencionar três fases ; sendo a primeira caracterizada pe- lo aparecimento da radícula e desenvolvimento da mesma (Fase I) . A segunda fase caracteriza-se pelo aparecimento das primeiras ramifica- ções secundárias em número de quatro (Fase II) orientadas em direção dos quatro pontos cardiais e originadas ao redor de apenas uma região da radícula. A terceira fase, caracteriza-se pelo crescimento do sis- tema radicular já existente e pelo aparecimento de novas ramificações secundárias e terciárias (Fase III) .

O número total médio de raízes secundárias e terciárias du- rante os onze dias de observação foi de 62 e 27 , respectivamente (FI- GURA 2) . O sistema apresenta um crescimento total de 140,13 cm de comprimento, sendo a velocidade média de crescimento de 0,48 cm/hora.

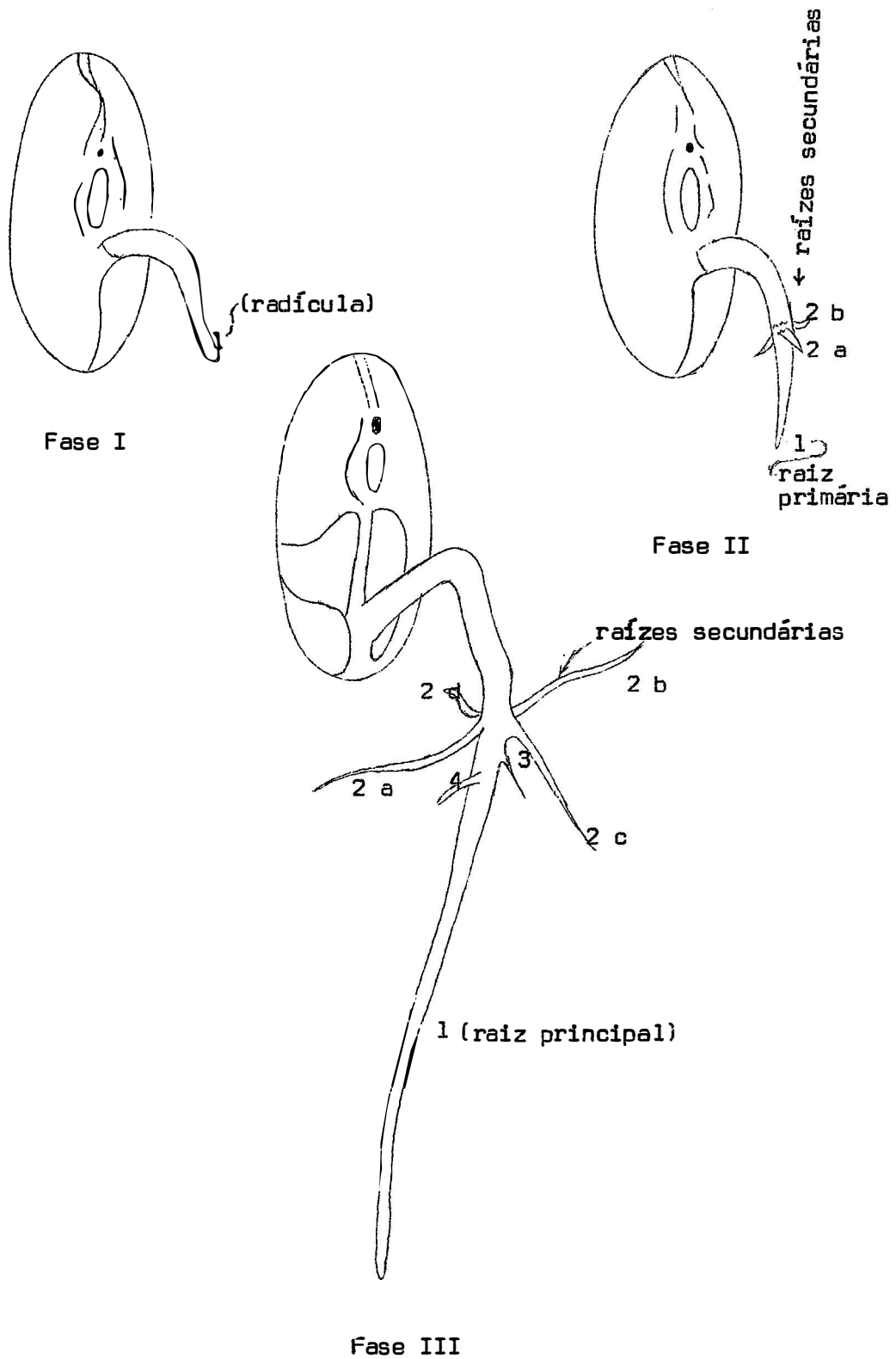


FIGURA 1 - Morfologia inicial do sistema radicular do feijoeiro, var. Carioca

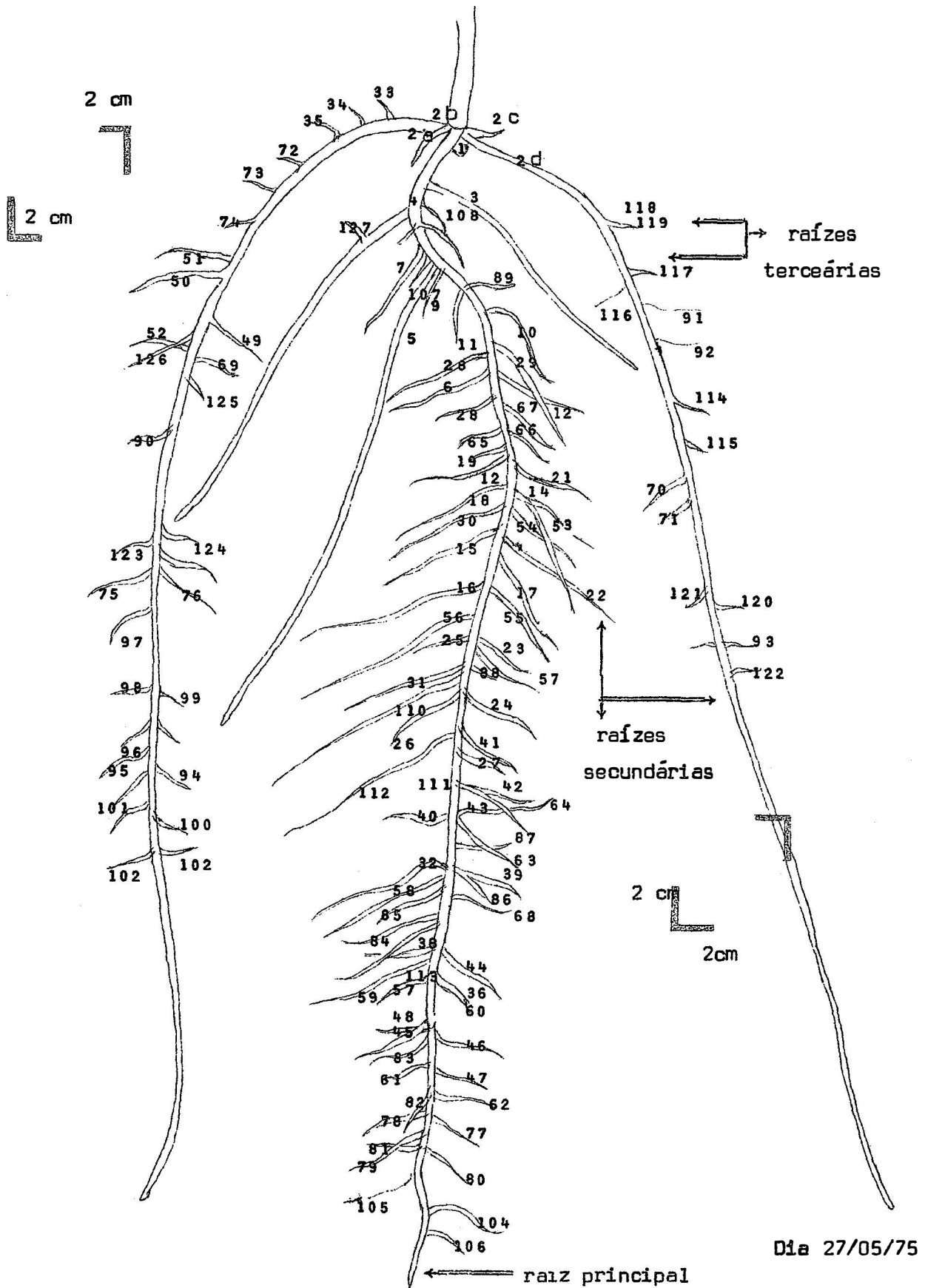


FIGURA 2 - Morfologia inicial do sistema radicular do feijoeiro, var. Carioca, cultivado em condições controladas, aos onze dias após o início da germinação

TABELA 4 - Crescimento radicular do feijoeiro var. Carioca, cultivado em condições controladas, aos onze dias após o início de germinação

Dias após a Germinação	Aparecimento de Raízes			Crescimento Radicular em cm			
	Primária	Secundária	Terciária	Primária	Secundária	Terciária	Total Acumulada
3	1	-	-	-	-	-	-
4	1	2(a,b,c,d)	-	3,30	2,13	-	5,43
5	1	2(a,b,c,d)	-	2,52	3,53	-	6,05
6	-	3 a 5	-	2,81	2,42	-	5,23
7	-	6 a 8	-	3,32	6,38	-	9,70
8	-	9 a 15	-	2,51	13,00	-	15,51
9	-	16 a 20	33 a 35	2,00	14,72	0,72	17,44
10	-	36 a 48	49 a 52	2,51	18,25	1,43	22,19
11	-	53 a 68	69 a 75	2,00	20,41	2,00	24,41
12	-	76 a 89	90 a 103	1,80	28,42	4,43	34,65
							140,13

Na TABELA 4 encontram-se a sequência de aparecimento das raízes, assim como o crescimento diário das mesmas. Os resultados mostraram que o aparecimento das raízes secundárias e das raízes terciárias ocorreram dos quatro aos nove dias após o início do aparecimento da radícula, respectivamente.

De acordo com os resultados, observa-se que antes do aparecimento de novas ramificações secundárias ou terciárias, o crescimento da raiz principal ou raiz principal e secundárias diminuiu. YORKE (1970) em *Pisum sativum* observou resultados semelhantes.

4.5 - Método do Monolito

Os resultados obtidos nos 320 blocos de terra amostrados nos perfis do solo adubado e não adubado, apresentam-se nas TABELAS 5 e 6 . Os dados obtidos foram expressos em porcentagem de peso total das raízes secas por camada de solo e total acumulado apresentam-se na TABELA 7 .

De acordo com os resultados, a maior concentração do peso radicular, encontra-se nos primeiros 15 cm de profundidade do solo, sendo de 17,702 g ou 77,45% do peso total para as plantas adubadas e 13,850 g ou 74,70% do peso total para as plantas não adubadas. Nos primeiros 30 cm de profundidade do solo encontrou-se para ambas situações 95% do peso total do sistema radicular.

TABELA 5 - Peso das raízes secas, por blocos obtidos pelo método do Monolito em solos adubados nos quatro perfis laterais

Profundidade (cm)	Número do Bloco										Totais
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0 - 15	0,143	-	0,100	0,150	-	-	0,120	0,200	0,150	0,130	0,993
15 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFIL 1	1,695	0,683	0,234	1,307	0,658	1,733	1,110	1,570	1,230	1,270	10,690
PERFIL 2	0,329	0,100	0,143	0,390	0,100	0,116	0,130	0,220	0,140	0,310	1,978
PERFIL 3	0,096	-	-	0,154	-	-	-	-	-	0,180	0,430
PERFIL 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número Planta	1	-	-	2	-	3	-	4	-	5	-

(*) As plantas da linha foram incluídas

continua ...

PERFIL 1 - Distância lateral = 30 - 15 cm

PERFIL 2 - Distância lateral = 15 - 0 cm

TABELA 5 - Continuação

Profundidade (cm)	Número do Bloco										Totais
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0 - 15	1,116	0,240	0,156	0,859	0,793	0,340	0,280	0,320	0,520	0,620	5,244
15 - 30	0,875	0,205	0,102	0,085	-	0,120	0,114	0,110	0,210	0,350	2,171
30 - 45	-	0,374	-	-	-	-	0,090	-	0,110	-	0,574
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFIL 3	0,029	0,076	0,090	-	0,120	0,090	0,100	0,180	-	0,090	0,775
15 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PERFIL 3 - Distância lateral = 0 - 15 cm

PERFIL 4 - Distância lateral = 15 - 30 cm

TABELA 6 - Peso das raízes secas, por blocos obtidos pelo método do Monolito em solo não adubado nos quatro perfis laterais

Profundidade (cm)	Número do Bloco										Totais	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0 - 15	0,100	0,080	-	0,100	-	0,110	-	0,050	0,100	-	-	0,540
15 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFIL 1	0,525	0,960	0,740	1,030	1,050	0,450	1,150	0,750	0,785	0,450	7,890	
PERFIL 2	0,285	0,295	0,425	0,200	0,150	0,200	0,125	0,290	0,200	0,130	2,300	
PERFIL 3	-	0,100	0,090	0,100	0,150	-	0,080	-	0,100	-	0,620	
PERFIL 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Número Planta	-	1	-	2	3	-	4	-	5	-	-	

(*) As plantas da linha foram incluídas

Continua ...

PERFIL 1 - Distância lateral = 30 - 15 cm

PERFIL 2 - Distância lateral = 15 - 0 cm

TABELA 6 - Continuação

Profundidade (cm)	Número do Bloco										Totais
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0 - 15	0,375	0,640	0,550	0,450	0,600	0,500	0,250	0,540	0,425	0,650	4,980
15 - 30	0,100	0,080	0,380	0,180	0,120	0,145	0,200	0,040	0,150	0,100	1,495
30 - 45	-	0,100	-	0,100	0,100	-	0,100	-	0,055	-	0,455
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFIL 3	0,100	-	0,100	-	0,100	0,090	-	-	0,050	-	0,440
15 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PERFIL 3 - Distância lateral = 0 - 15 cm

PERFIL 4 - Distância lateral = 15 - 30 cm

TABELA 7 - Peso total das raízes secas de cinco plantas do feijoeiro adubado e não adubado obtidos pelo método do Monolito

Adubado

Profundidade dos Blocos (cm)	Quantidade de Raízes		
	Peso por Camada (g)	Porcentagem Sobre o Total	
		Por Camada	Acumulada
0 - 15	17,702	77,45	77,45
15 - 30	4,149	18,15	95,60
30 - 45	1,004	4,40	100,00
45 - 60	--	--	--
Total	22,855	100,00	--

Não Adubado

Profundidade dos Blocos (cm)	Quantidade de Raízes		
	Peso por Camada (g)	Porcentagem Sobre o Total	
		Por Camada	Acumulada
0 - 15	13,850	74,70	74,70
15 - 30	3,795	20,47	95,17
30 - 45	0,895	4,83	100,00
45 - 60	--	--	--
Total	18,540	100,00	--

Observação: A profundidade do perfil no estudo atingiu 1,5 m .

A máxima penetração radicular, observada através deste método dá-se entre 30 - 45 cm de profundidade do solo. Nos perfis laterais situados aos 30 - 15 e 15 - 30 cm respectivamente da fileira de plantas amostradas, observou-se que as raízes, somente encontrou-se nos primeiros 15 cm de profundidade, sendo sua distribuição não muito uniforme.

A distribuição radicular para ambas situações estudadas, a dubado e não adubado, diferem muito pouco, apresentando diferenças em quanto ao peso total do sistema radicular, sendo 22,855 g para o solo adubado e 18,540 g para o solo sem adubação. INFORZATO & MASCARENHAS (1969) empregando a mesma metodologia e as mesmas condições experimentais, não observaram diferenças significativas em quanto ao peso radicular na cultura da soja.

WILKINSON & OHLROGGE (1962) observaram que a concentração dos nutrientes (fertilizantes) estimula a proliferação das raízes no local adubado, devido que o nitrogênio e o fósforo concentrado nas células da raiz aceleram sua divisão e alongação ; porém não houve aumento no peso total das raízes.

Observações sobre a morfologia do sistema radicular no campo foram realizadas, apresentando diferenças quando comparado com o descrito no item 4.4 , pela presença de muitas raízes adventícias. KRAMER (1974) assinalou a presença destas raízes como associadas a condições de aeração deficiente.

As raízes acompanham em seu desenvolvimento os fendilhamentos presentes no perfil do solo, os quais são frequentes nesses solos (veja-se descrição do perfil, ítem 4.3). Observou-se também uma concentração de raízes na zona situada acima da camada B_1 . Segundo TROCME & GRAS (1966), a sequência textural é um dos fatores que afetam mais a distribuição radicular no perfil do solo dado o seu efeito sobre a continuidade da porosidade do solo. As solos estudados apresentam na camada superficial (horizonte Ap) uma textura barro-argilo-arenosa; e na inferior uma textura argilosa.

4.6 - Método do Elemento Marcado

Os resultados obtidos com o presente método encontram-se nas TABELAS 8 e 9, e no GRÁFICO 2.A e 2.B.

De acordo com estes dados, a maior atividade encontra-se nos primeiros 10 cm de profundidade do solo e 10 cm laterais da planta diminuindo progressivamente a medida que se aprofunda no solo e aumenta a distância lateral.

A máxima profundidade de enraizamento alcançou 50 cm, e a máxima distância lateral alcançadas pelas raízes foi de 25 cm, aos 10 e 20 cm de profundidade (veja-se GRÁFICO 2.A e 2.B).

Diferenças na distribuição do sistema radicular na parte adubada e não adubada não foram observadas, porem de maneira geral a radioatividade total, como a atividade/g de planta, como a atividade específica c/min/mg P e total é maior nas plantas adubadas (TABELA 8).

TABELA 8 - Miligramos P/g por planta, atividade total, atividade/g de planta, encontradas nas plantas adubadas e porcentagem da radioatividade total nos mesmos.

Tratamentos	cm	mg P ³² /g planta			Atividade Total			Atividade g/planta			Atividade Específica c/min/mg P			Porcentagem		
		L	P	Número	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10 - 10	3,18	4,12	3,65	103,3	109,2	91,7	64,56	68,25	57,33	20,30	16,56	15,70	94,59	100,00	84,01
2	10 - 20	4,12	3,65	3,59	47,9	41,9	32,1	29,93	26,18	20,06	7,82	7,17	5,60	43,85	38,36	29,39
3	10 - 30	3,33	4,30	3,76	29,1	26,8	25,1	18,18	16,75	15,68	5,45	3,89	4,17	26,64	24,54	22,98
4	10 - 40	3,94	3,28	3,04	18,9	13,1	12,6	11,81	8,18	7,87	2,99	2,48	2,58	17,30	11,99	11,53
5	10 - 50	3,21	--	4,78	11,2	--	12,5	7,02	--	7,81	2,18	--	1,66	10,30	--	11,44
7	15 - 10	3,83	3,59	2,79	31,4	37,1	22,5	19,82	23,18	14,08	5,12	6,45	5,03	28,75	33,97	20,60
8	15 - 20	3,95	3,62	3,34	26,3	24,4	20,0	16,43	15,25	12,50	4,15	4,21	3,74	24,08	22,34	16,31
9	15 - 30	4,11	3,40	3,65	15,7	11,6	13,6	9,79	7,25	8,49	2,38	2,13	2,32	14,35	10,82	12,45
10	15 - 40	--	2,86	--	--	9,8	--	--	6,12	--	--	2,13	--	8,87	--	--
13	20 - 10	3,44	3,75	3,27	22,5	24,2	22,4	14,06	15,12	14,00	4,08	4,03	4,28	20,60	22,16	20,51
14	20 - 20	3,63	4,16	3,71	15,5	14,8	16,6	9,68	9,25	10,37	2,52	2,22	2,79	14,19	13,55	15,20
15	20 - 30	3,21	--	--	14,2	--	--	8,87	--	--	2,76	--	--	13,00	--	--
19	25 - 10	3,40	3,29	3,59	13,5	18,2	23,0	8,43	11,37	14,37	2,47	3,45	4,00	12,36	16,66	21,06
20	25 - 20	3,62	--	--	10,5	--	--	6,56	--	--	1,81	--	--	9,61	--	--

OBSERVAÇÕES: Nas plantas dos tratamentos 6, 11, 12, 16, 17, 18, 21, 22, 23 e 24 não foi detectada radioatividade.

L = Laterais
P = Profundidades

TABELA 9 - Miligramas P^{31} /g por planta, atividade total, atividade/g de planta, encontradas nas plantas não adubadas e porcentagem da radioatividade total nos mesmos

Tratamentos	cm	mg P^{31} /g planta			Atividade Total			Atividade g/planta			Atividade Especifica c./min/mg P			Porcentagem		
		L	P	Número	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	10 - 10	1.28	1.50	1.45	89,4	91,4	88,8	62,12	57,12	55,50	48,15	36,56	38,27	91,02	83,89	81,37
2	10 - 20	1.20	1.78	1.35	33,2	36,2	34,2	20,75	22,62	21,37	17,29	12,70	15,82	30,40	33,15	31,40
3	10 - 30	1.40	1.98	1.38	22,6	25,1	21,8	14,12	15,68	13,68	10,08	7,91	9,91	20,69	22,98	20,10
4	10 - 40	1.15	2.30	--	12,6	15,4	--	7,87	9,62	--	6,84	4,18	--	11,53	14,10	--
5	10 - 50	1.67	--	--	11,3	--	--	7,06	--	--	3,77	--	--	10,20	--	--
7	15 - 10	1.89	2,10	1,43	37,0	33,8	35,1	23,12	21,12	21,93	12,23	10,05	15,33	33,88	30,95	32,20
8	15 - 20	1.97	2,30	1,36	30,7	31,2	27,4	18,18	19,50	17,12	9,73	8,47	12,58	28,11	28,57	25,14
9	15 - 30	1.29	2,30	1,38	11,9	13,7	10,6	7,43	8,56	6,62	5,75	3,72	4,79	10,89	12,54	9,78
10	15 - 40	1.30	1,98	--	7,8	10,1	--	4,94	6,31	--	3,80	3,18	--	7,25	9,25	--
13	20 - 10	1.70	1,98	1,76	23,8	25,5	22,0	14,87	15,83	13,75	8,74	8,04	7,81	21,79	23,35	20,15
14	20 - 20	1.80	1,70	1,56	18,3	19,7	15,4	11,43	12,31	9,62	6,01	7,24	6,16	16,75	18,04	14,12
15	20 - 30	1.69	1,46	1,49	12,1	11,0	11,5	7,58	6,90	7,16	4,49	4,72	4,80	11,12	10,11	10,50
19	25 - 10	1.26	1,35	1,53	10,8	11,1	12,1	6,72	6,90	7,58	5,25	5,11	4,96	9,85	10,12	11,12
20	25 - 20	1.34	--	1,38	10,8	--	8,3	6,62	--	5,18	5,09	--	3,75	10,00	--	7,60

OBSERVAÇÕES: Nas plantas dos tratamentos 6, 11, 12, 16, 17, 18, 21, 22, 23 e 24 não foi detectada radioatividade.

L = Laterais
P = Profundidades

Adubadas

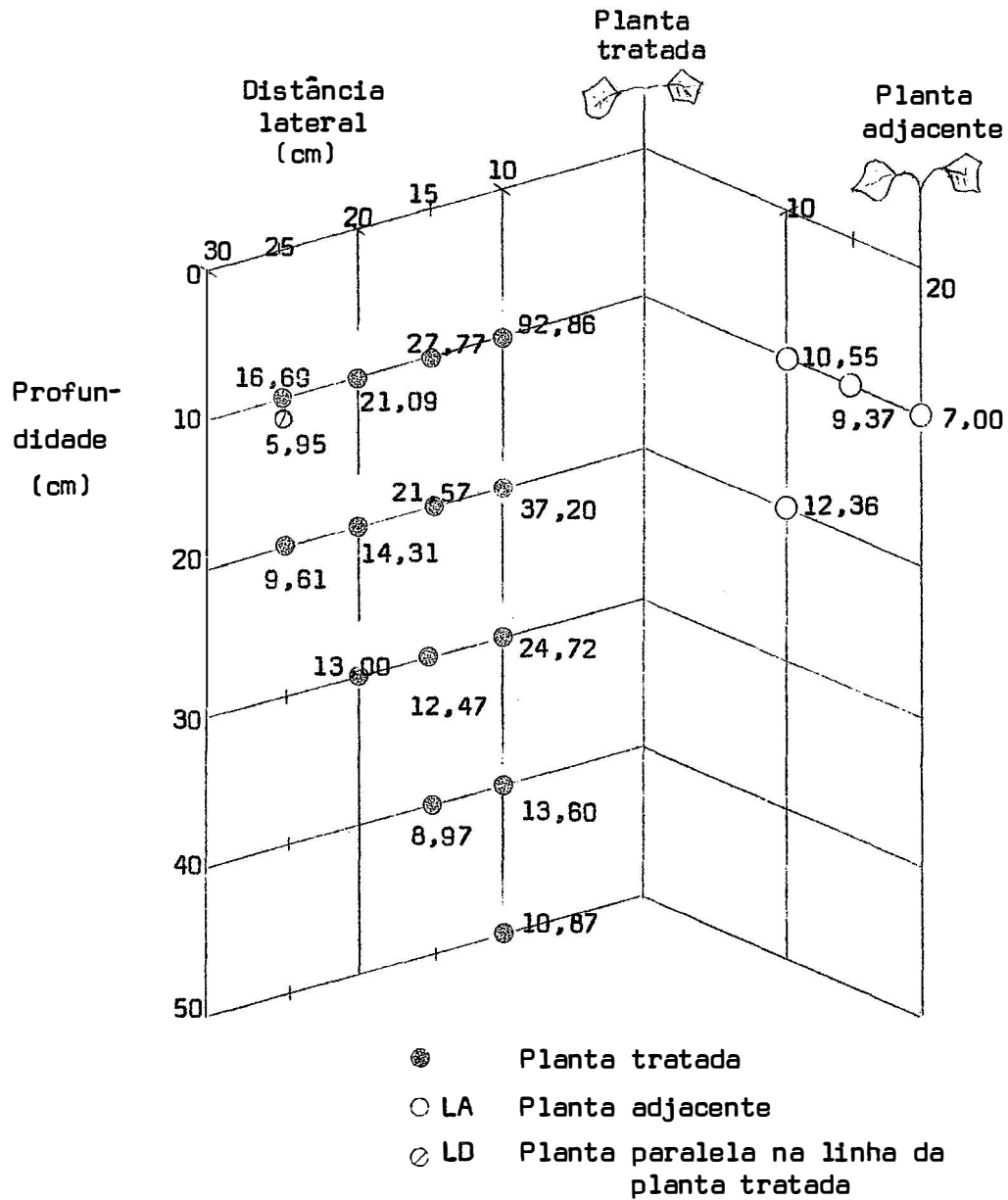


GRÁFICO 2.A - Distribuição do sistema radicular do feijoeiro adubado, aos 56 dias, expressado em porcentagem da maior radioatividade

Não adubadas

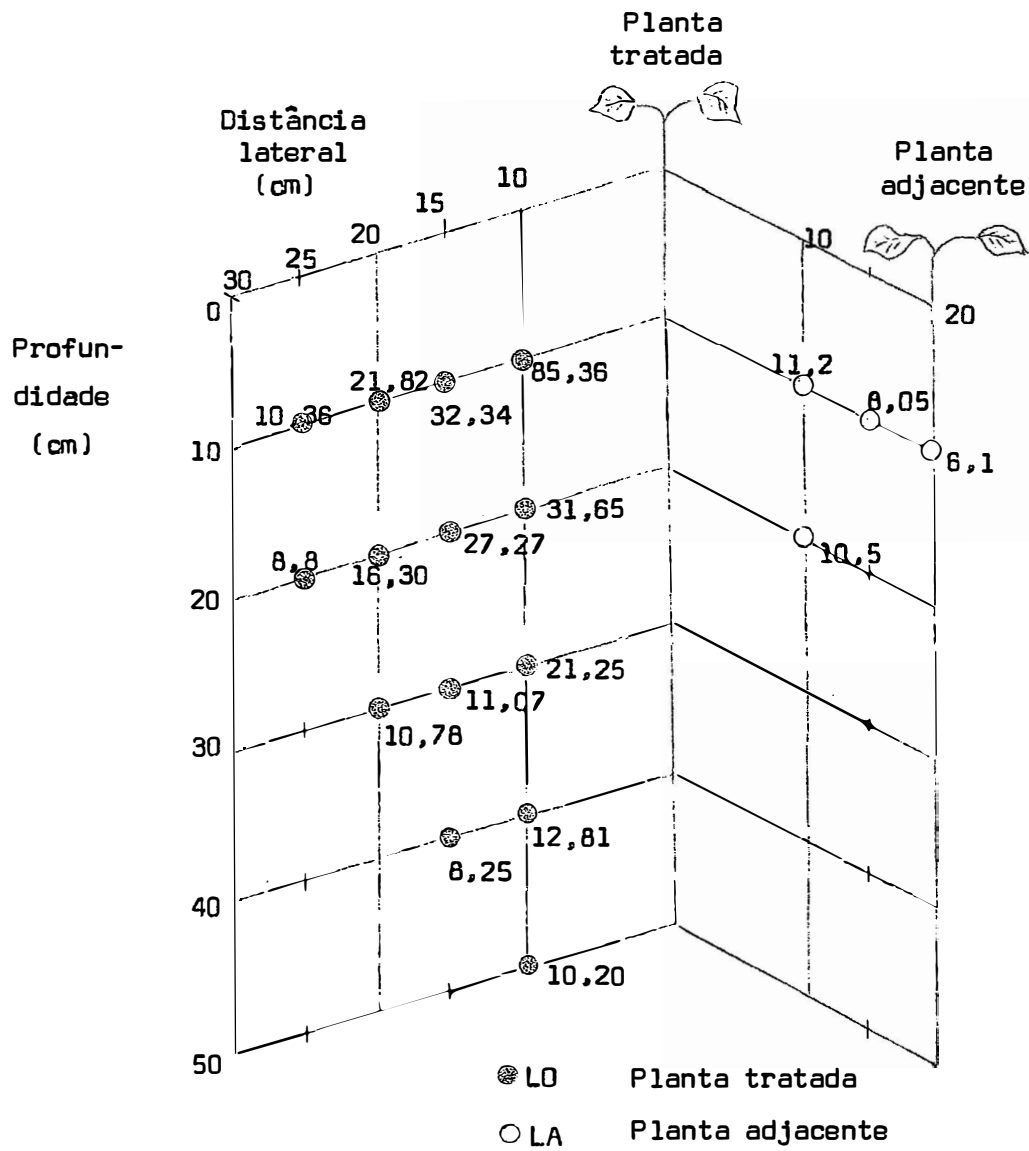


GRÁFICO 2.8 - Distribuição do sistema radicular do feijoeiro não adubado, aos 56 dias, expressado em porcentagem da maior radioatividade

TABELA 10 - Miligramos P/g por planta, atividade total, atividade/g de planta, encontrados nas plantas adubadas e não adubadas, adjacentes e das linhas paralelas a planta tratada

Tratamentos	cm	mg P ³¹ /g planta			Atividade Total			Atividade g/planta			Atividade Específica c/min/mg P			Porcentagem		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ADUBADAS:																
1	10-10 LA	3,25	3,40	3,30	11,07	11,89	11,59	6,91	7,43	7,24	2,12	2,18	2,19	10,14	10,89	10,62
2	10-20 LA	3,42	--	3,28	14,51	--	12,49	9,07	--	7,80	2,65	--	2,38	13,29	--	11,44
7	15-10 LA	3,35	3,42	--	9,79	10,67	--	6,12	6,67	--	1,82	1,95	--	8,97	9,78	--
13	20-10 LA	--	3,50	3,65	--	10,49	4,79	--	6,55	2,99	--	1,87	0,62	--	9,61	4,39
19	25-10 LD	3,50	3,62	--	9,79	3,18	--	6,12	1,99	--	1,74	0,55	--	8,97	2,93	--
NÃO ADUBADAS:																
1	10-10 LA	1,38	1,70	1,98	12,61	13,32	11,19	7,88	6,32	6,99	5,71	4,89	3,53	11,15	12,20	10,25
2	10-20 LA	1,76	1,56	1,69	11,46	10,70	12,23	7,16	6,88	7,64	4,07	4,28	4,52	10,50	9,80	11,20
7	15-10 LA	1,28	1,35	--	8,29	9,28	--	5,18	5,80	--	4,05	4,29	--	7,60	6,50	--
13	20-10 LA	1,70	--	1,56	5,89	--	7,42	3,68	--	4,64	2,16	--	2,97	5,40	--	6,80

OBSERVAÇÕES: Nas plantas adjacentes (LA) e das linhas paralelas (LD) dos tratamentos 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 não adubada; 20, 21, 22, 23 e 24 não foi detectada radioatividade.

L = Laterais
P = Profundidades

Isso é devido a maior densidade radicular apresentada pelas plantas adubadas, segundo os dados e observações obtidas pelo método do monolito.

Na TABELA 10 encontram-se a radioatividade detectada nas plantas adjacentes e naquelas das linhas paralelas à linha da planta tratada, coletadas para verificar a existência ou não de entrecruzamento radicular.

As plantas adjacentes (LA) entrecruzam-se nas distâncias laterais de 10 , 15 e 20 cm , e nas profundidades de 10 e 20 cm , (veja-se GRÁFICO 2.A e 2.B e TABELA 10).

Por outro lado, verificou-se que somente as plantas adubadas apresentam entrecruzamento de raízes com as plantas da linha paralela a uma distância lateral de 25 cm e a uma profundidade de 10 cm. E de-se acreditar que este entrecruzamento é devido a um maior desenvolvimento do sistema radicular pela adubação efetuada (veja-se GRÁFICO 2.A e 2.B e TABELA 10).

Nas plantas dos experimentos 3 e 4, tratadas ; adjacentes não tratadas e situadas nas linhas paralelas da planta tratadas; não foi detectada radioatividade.

4.7 - Método da Sonda

Dos resultados obtidos (veja-se TABELA 11) verificou-se a maior concentração radicular, a uma profundidade de 0 - 15 cm, correspondendo a 91,36% do peso total radicular. Os resultados por este método, corcondam em linhas gerais com a distribuição radicular obtida pelos métodos antes descritos porém apresentam precisão menor.

Este método apresenta a mesma limitação existente no método do monolito, no que diz respeito à separação das raízes do solo e à separação das raízes estranhas ao sistema radicular da planta em estudo. Por este motivo a pesagem das raízes nas amostras correspondentes às distâncias laterais de 20 e 30 cm, e profundidades de 30 a 45 cm, não foi feita porque não foi possível discriminar a procedência exata dos traços de raízes separadas.

4.8 - Relação Parte Aérea/Sistema Radicular ou Aérea/Radicular

Embora as raízes dependam da parte aérea para a formação dos carboidratos e a parte aérea depende das raízes por água e nutrientes minerais, o crescimento de ambos é estreitamente integrado; porém muitos pesquisadores sugerem que o crescimento da parte aérea é independente daquela do sistema radicular (NIELSEN & HUMPHRIES, 1966).

Através dos dados do peso das raízes obtidos pelo método de Monolito, e os dados do peso das plantas amostradas, estabeleceu-se a relação parte aérea/radicular apresentada nas TABELAS 12 e 13 para ambas situações estudadas, com e sem adubação.

TABLELA 11 - Peso das raízes secas em gramas por amostras obtidos pelo método da sonda no solo adubado

Profundidade (cm)	Distância lateral em cm													
	0 - 10			10 - 20			20 - 30			30 - 40			40 - 50	
0 - 15	0,080	0,100	0,070	0,090	0,040	0,020	0,060	0,030	-	Traças	Traças	-	-	-
15 - 30	0,010	0,005	0,010	0,015	0,005	0,006	-	0,005	-	Traças	-	-	-	-
30 - 45	-	Traças	-	Traças	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Profundidade (cm)	Distância lateral em cm													
	0 - 10			10 - 20			20 - 30			30 - 40			40 - 50	
0 - 15	0,340	89,47	89,47	0,150	91,36	91,36	0,150	91,36	91,36	0,150	91,36	91,36	0,150	91,36
15 - 30	0,040	10,52	100,00	0,016	9,63	100,00	0,016	9,63	100,00	0,016	9,63	100,00	0,016	9,63
30 - 45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
45 - 60	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Total	0,380	--	--	0,166	--	--	0,166	--	--	0,166	--	--	0,166	--

(1) % do Total

(2) % Acumulado

TABELA 12 - Resultados do peso das plantas secas e altura obtidos, no solo adubado e não adubado

Adubado

	Número de Plantas					Total	Média
	1	2	3	4	5		
Peso das plantas secas (g)	18,10	20,12	23,10	21,15	22,13	104,60	20,95
Altura (cm)	30,50	29,20	35,10	36,20	34,70	165,70	33,14

Não Adubado

	Número de Plantas					Total	Média
	1	2	3	4	5		
Peso das plantas secas (g)	11,75	10,30	11,20	12,40	9,83	55,48	11,09
Altura (cm)	25,10	24,20	22,70	23,90	19,30	115,20	23,04

TABELA 13 - Relação parte aérea/sistema radicular nas plantas de solo adubado e não adubado

	Adubado	Não Adubado
Peso da parte aérea	20,95	11,09
Peso da raiz	4,571	3,708
Relação: aérea/raiz	4,58	2,99

A relação no solo adubado foi de 4,58 e para aquele não adubado de 2,99 acusando uma diferença de 50% entre ambos. BOSEMARK (1954) assinalou que existe uma relação inversa entre desenvolvimento radicular e suplência de nitrogênio. LEMAIRE (1975) observou que o efeito do nitrogênio é mais importante sobre a parte aérea do que sobre as raízes. LUCKWILL (1960) sugere que a planta adapta seu crescimento para manter constante, não a relação parte aérea/raiz, porém o teor de nitrogênio e síntese de carboidratos.

Os dados mostraram que a maior redução no peso ocorreu na parte aérea das plantas não adubadas, enquanto a diferença no peso radicular não foi tão marcante.

CRUZ (1972) e BALDY (1973), assinalaram que a relação parte aérea/radicular varia no decorrer do ciclo da planta.

4.9 - Comentários Sobre os Resultados Obtidos pelos Métodos Estudados

Os resultados obtidos pelos três métodos empregados, em linhas gerais, suministram uma informação semelhante no tocante à distribuição do sistema radicular do feijoeiro nas condições deste estudo, porém diferem amplamente em quanto a precisão da informação fornecida.

A profundidade máxima radicular atingida de acordo com o método com radioisótopos situa-se aos 50 cm. No método do monolito a mesma encontra-se entre 30 e 45 cm. Os resultados da distribuição da

macro e micro ; e da porosidade total apresentados na TABELA 14 e GRÁFICOS 3 e 4 , mostram que a microporosidade aumenta com a profundidade do solo.

Na camada superficial (horizonte Ap) a microporosidade alcançou 36,35% , passando para 40,25% e 74,14% nas camadas mais profundas. A macroporosidade decresceu no mesmo sentido passando de 14,37% na camada superficial para 11,82% e 7,43% nas subjacentes.

KOPECKY (1919) citado por HENIN (1972) apresenta valores mínimos da macroporosidade necessários para assegurar um crescimento normal de algumas culturas (trigo, aveia, cevada e gramíneas forrageiras) as quais variam entre 20% e 6% . Os valores apresentados no presente estudo encontram-se dentro destes valores, sendo o valor mais baixo (7,43%) na terceira camada.

A distribuição da precipitação durante o desenvolvimento da cultura cujos dados, foram apresentados na TABELA 1 , mostram que durante os 56 dias, o total da precipitação foi de 518,4 mm , sendo a frequência das chuvas mais acentuada aos 30 dias finais do período considerado na fase experimental (início da floração). RANZANI (1968) assinalou que o balanço hídrico para a região se caracteriza por excesso de água no solo.

Tomando-se como base os resultados de DASBER (1970), sobre a alta exigência de aeração da cultura pode-se admitir a presença de um elevado teor de umidade que impediu o aprofundamento do sistema radicular. A presença das raízes adventícias podem associar-se a esta situação.

TABELA 14 - Resultados obtidos nas amostras do perfil do solo, da macroporosidade , microporosidade e porosidade total

Profun- didade (cm)	Peso Específico		Porosidade			
	Real gr/cm ³	Aparente gr/cm ³	Macro	Micro	Total % Calculada	Total % Determinada
0 - 19	1,35	2,71	14,37	36,53	50,90	41,20
19 - 35	1,27	2,65	11,82	40,25	52,07	43,24
35 - 90	1,16	2,52	7,43	47,14	53,96	42,37

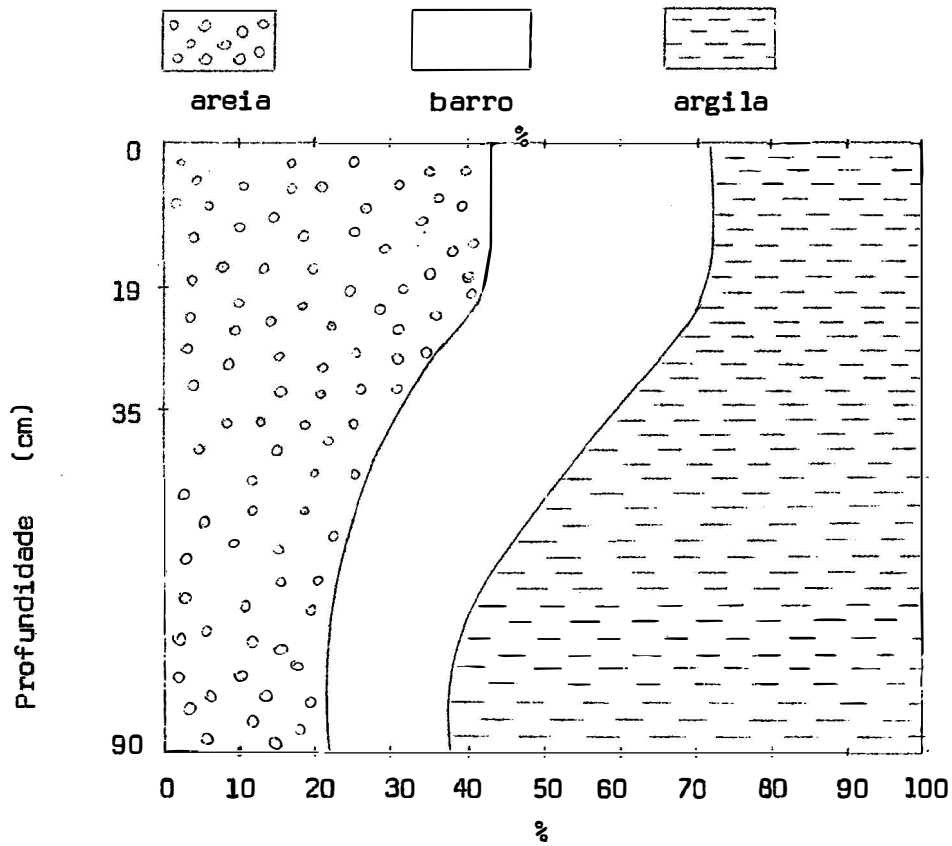


GRÁFICO 3 - Distribuição gráfica dos dados da Tabela 2

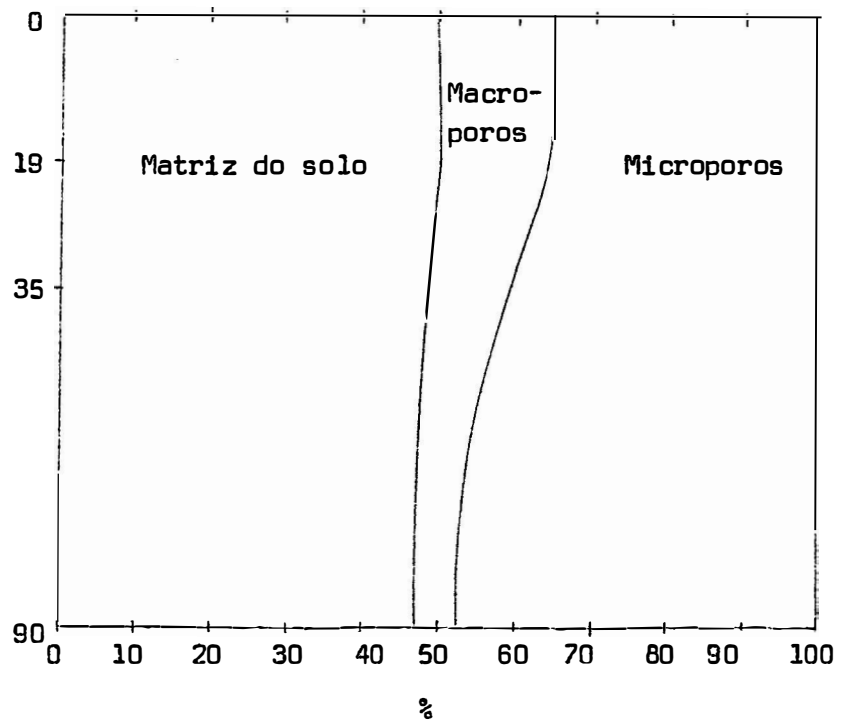


GRÁFICO 4 - Distribuição gráfica dos dados da Tabela 14

Observou-se que a utilização de parâmetros isolados como densidade aparente, porosidade total e outros, na interpretação da distribuição radicular é limitada, dado o número de fatores que influen - ciam na mesma. Os valores da densidade aparente (TABELA 2) e porosi - dade total (TABELA 14) mostraram isoladamente, condições para um irrestrito desenvolvimento radicular, porém a penetração radicular não atin - giu mais do que 50 cm de profundidade. INFORZATO (1963 , 1964) rela - tou que a cultura pode atingir profundidades maiores.

Em relação a distribuição do sistema radicular no perfil do solo, os resultados obtidos através do método com elemento marcado mostraram maior presisão em comparação aos do método do monolito e da sonda.

O método do monolito, sem entrar em considerações do tempo de trabalho e esforço físico exigido, superior ao método do elemento marcado e da sonda, apresenta as seguintes dificuldades as quais limi - tam as informações esperadas. A separação das raízes do solo, apre - sentou uma grande dificuldade dada a necessidade de eliminar totalmen - te a fração argila aderida fortemente às mesmas sem aumentar os riscos de perda de material, situação que se acentua para as raízes mais fi - nas.

Tomando em consideração que o volume dos monolitos normalmente amostrados são maiores (10 x 30 x 40 cm) aos empregados no pre - sente estudo (10 x 15 x 15 cm respectivamente) as perdas do material devem ser maiores. SCHUURMAN (1971) recomenda no caso de solos argilosos o tratamento das amostras com um dispersante como pirofosfato

de sódio sob condições de vácuo o qual facilitaria esta separação.

Outra dificuldade que apresenta o método e a eliminação é a separação das raízes estranhas ao sistema radicular em estudo ou de plantas idênticas adjacentes.

FRANCO & INFORZATO (1946) mencionou que o estudo da distribuição das raízes existentes por peso não dá uma idéia real sob o ponto de vista fisiológico da absorção. Pesos elevados das raízes nas proximidades do tronco podem representar apenas uma única raiz, ao passo que algumas gramas nas partes mais distantes poderão representar muitos metros de pequeninas radículas.

Este problema foi contornado, fazendo-se a discriminação por diâmetro radicular, porém isso é factível em plantas de certo porte, sendo pouco viável em sistemas radiculares, com diâmetro radicular muito pequeno.

A caracterização física, química e morfológica do perfil dos solos, assim como a determinação da macro e microporosidade e de outros parâmetros são indispensáveis ou necessários para que os métodos de estudo radicular permitam uma maior atitude analítica com predomínio da interpretação sobre a descrição.

5 - CONCLUSÕES

Podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- 1 - A morfologia inicial do feijoeiro caracteriza-se pelo aparecimento da radícula e a seguir aparecimento das primeiras ramificações secundárias, em número de quatro, originadas somente em uma região desta radícula.
- 2 - A distribuição do sistema radicular no campo foi influenciada pelas condições físicas do solo.
- 3 - A máxima profundidade atingida pelo sistema radicular foi de 50 cm ; lateralmente alcançou até 25 cm nas camadas superficiais. A zona dinâmica de absorção encontrou-se nos primeiros 10 cm de profundidade do solo e 10 cm laterais da planta diminuindo progressivamente a medida que se aprofunda o sistema radicular no solo e aumenta a distância lateral.
- 4 - Os métodos: do monólito, da sonda e do elemento marcado, indicaram a mesma distribuição do sistema radicular, porém os dados obtidos com o emprego do método com radioisótopos foram mais precisos.

- 5 - Evidenciou-se um entrecruzamento radicular entre as plantas adjacentes nas distâncias laterais de 10 até 20 cm e nas profundidades até 20 cm, porém verificou-se também um entrecruzamento com as plantas de linhas paralelas nos 25 cm laterais e nos 10 cm de profundidade nas plantas adubadas.

- 6 - A caracterização física, química e morfológica do perfil do solo; assim como a determinação de outros parâmetros (macro e microporosidade e outros) são necessários para que os métodos de estudo radicular possam ter uma atitude analítica com predomínio da interpretação sobre a descrição.

6 - RESUMO

O trabalho constou de duas partes. Na primeira, estudou-se a morfologia inicial do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade Carioca, em condições controladas. Empregou-se um dispositivo que constava de dois vidros (22 cm x 36 cm) separados por uma prancha de madeira de 3 mm de espessura e, mantidos verticalmente por um suporte de madeira num dos quais com uma camada de papel de filtro coberto com pano.

Sementes prégerminadas foram colocadas entre os vidros, na parte superior. Uma solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), diluída a um décimo foi fornecida por capilaridade através do papel de filtro e do pano. As observações, através de medições e de fotografias, foram feitas cada 24 horas, durante onze dias.

Foram caracterizadas três fases:

- 1 - Aparecimento da radícula e desenvolvimento da mesma.
- 2 - Aparecimento das ramificações secundárias em número de quatro, originadas ao redor de uma região da radícula.
- 3 - Crescimento do sistema radicular existente e aparecimento de novas ramificações.

O crescimento total das raízes durante o período de observações foi de 140,13 cm de comprimento, sendo o número de raízes secundárias de 62 e terciárias de 27. A velocidade média de crescimento foi de 0,48 cm/hora.

Na segunda parte, em condições de campo, em um solo do Grande Grupo "Terra-Roxa-Estruturada" da ordem Alfisol, estudou-se o

sistema radicular do feijoeiro pelos métodos do Monolito, da Sonda e do Elemento Marcado, com plantas adubadas e não adubadas e com dois espaçamentos entre plantas.

Foram feitas a descrição morfológica do perfil e determinações das propriedades físicas e químicas dos solos, assim como a macro e microporosidade das diferentes camadas do mesmo.

Os resultados mostraram que a distribuição radicular foi influenciada pelas condições físicas. A máxima profundidade atingida pelo sistema radicular foi de 50 cm, alcançando-se lateralmente 25 cm nas camadas superficiais.

Os métodos estudados apresentaram em linhas gerais os mesmos resultados no que se refere a distribuição radicular, porém diferiram no que diz respeito a precisão dos mesmos. Neste aspecto o método do elemento marcado foi relevante.

Estudou-se também a relação parte aérea/sistema radicular, observando-se que nas plantas não adubadas, a parte aérea foi mais afetada. As relações obtidas foram 4,58 nas plantas adubadas e 2,99 para as não adubadas.

Entre as plantas adjacentes, evidenciou-se um entrecruzamento radicular nas distâncias laterais de 10 a 20 cm, e nas profundidades até de 20 cm. Verificou-se também entrecruzamento nas plantas adubadas das linhas paralelas, nos 25 cm laterais e nos 10 cm de profundidade.

7 - SUMMARY

This work was divided into two parts. In the first part, the initial morphology of root system of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) , variety carioca was studied in controlled conditions. For this purpose, a gadget with two glasses (22 cm x 36 cm) separated by a 3 mm thick wood board, was maintained vertically by wood supporting. Between the two glasses there was a sheet of filter paper covered with a piece of fabric.

Pregerminated seeds were placed between the glasses in the upper part. The nutrient solution of HOAGLAND and ARNON (1950) diluted to one tenth was given by capillarity through the filter paper and the fabric. The observations through measurements and photographs were made each 24 hours during eleven days.

Three stages were characterized:

- 1 - Appearance and development of the radicle.
- 2 - Appearance of the secondary ramifications in number of four, originated around a region of the radicle.
- 3 - Growth of the existing root system and appearance of new ramifications.

The total growth of the root system during the period of observation was 140.13 cm length the number of secondary and tertiary roots 62 and 27 , respectively. The mean rate of growth was 0.48 cm/hour.

The second part of this work was carried out in the field, in a Great Group Soil named "Terra Roxa Estruturada" , order ALFISOL.

The root of common bean was studied by the monolith method, the auger method and the method using radioisotopes, in plants fertilized and not fertilized and double spaced.

The results showed that the maximum depth of the root system was 50 cm and the maximum lateral distance reached by the root system was 25 cm in the superficial layers.

The methods studied showed the same pattern in respect to root distribution, but were different in respect to precision. In this aspect, the method with radioisotopes is to be regarded as outstanding.

The aerial part/root system ratio indicated that in the plant which did not receive fertilizers, the aerial part was more strongly affected. The ratios calculated were 4.58 for the fertilized plants and 2.99 for the non-fertilized plants.

Root intercrossing was evidenced between adjacent plants at lateral distances of from 10 to 20 cm and at depths of up to 20 cm.

Root intercrossing was also noted to occur with the plants in the parallel rows at lateral distances of up to 25 cm and at depths of up to 10 cm in the fertilized plants.

8 - BIBLIOGRAFIA CITADA

- AWERBUCH, T. & AVNIMELECH, Y. Counting ³²P in plant tissues using the Cerenkov effect. Pl. Soil, 33 (2): 260-4, 1970.
- BALDY, Ch. Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp) Annls.agron., 24 (2): 241-76- 1973.
- BARBER, S. A. & OLSON, R. A. Fertilizer use on corn. In: NELSON, L. B., ed. Changing fatterns in fertilizer use. Madison, Soil Sci Soc. America, 1968. p. 164-88.
- BENNET, O. & DOSS, B. Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forrage species. Agron. J., 52 (4): 204-7 , 1960.
- BHAT, K. S. & LEELA, M. The effect of density of planting on the distribution of Arecanut roots. Trop. Agric. Trin., 46 (1): 55-61 , 1969.
- BOSEMARK, N. Influence of nitrogen on root development. Physiol. Plant., 7: 497-501, 1954.
- BULL, R. Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. I. Changes in the root system induced by mulching and irrigation. Turrialba, 13 (2): 96-114 1963
- BURSTROM, H. Auxin and the growth of roots. In: INTERNATIONAL BOTANICAL CONGRESS, 9. , Toronto, 1959. Recent advances in botany. Toronto, Univ. Toronto press, 1959. v. 2 , p. 1093-6.

- CATANI, R. A. & JACINTHO, A. O. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Bolm. téc. cient. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", nº 37 , 1974. 57 p.
- COBRA NETO, A. Absorção e deficiências dos macronutrientes pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* , L. var. Roxinho). Piracicaba, 1967. 83 p. (Tese - ESALQ).
- COBRA NETO, A. ; ACORSI, W. R. ; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* , L. var. Roxinho). Anais Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 28: 257-74, 1971.
- COLMENARES, J. M. & BLASCO, M. Effects of different salts added to soil on bean (*Phaseolus vulgaris* , L.) production. Turrialba, 24(1): 38-46, 1974.
- CRUZ, G. & TAMES, C. Desarrollo y distribución del sistema radicular del trigo y maíz evaluado en condiciones de campo. An. Inst. Nac. Invest. agron. Ser. Prod. Veg. (2): 75-101, 1972.
- DASBERG, S. & BAKKER, J. W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. Agron. J., 62 (6): 689-92, 1970.
- D'ARTAGNAN, A. L. , LEITÃO Fº, M. F. ; MIYASAKA, S. Feijoeiro no estado de São Paulo. Circ. Inst. agron. Campinas, nº 7 , 1971 , 8 p.
- DAY, P. R. & HOLMGREEN, G. G. Microscopic changes in soil structure during compression. Proc. Soil. Sci. Soc. Am., 16 (1): 73-7 , 1952.

- DE ROO, H. C. Tillage and root growth. In: WHITTINGTON, W. J. , ed Root growth. New York, Plenum press, 1969. p. 339-58.
- EL NADI, A. H. Water relations of beans. I. Effects of water stress on growth and flowering. Expl. Agric., 5(3): 195-207, 1969.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas ; princípios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos ; São Paulo, Ed. USP , 1975. 344 p.
- FORD, H. The effect of spreading decline on the root distribution of citrus. Proc. Fla. St. Hort. Soc., 65: 47-50, 1952.
- FOY, C. O. ; ARMIGER, W. H. ; FLEMING, A. ; ZAUMEYER, W. Differential tolerance of dry bean, snap bean and lema bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agron. J., 59 (6): 561-3 , 1967.
- FRANCO, M. & INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. Bragantia, 6 (9): 443-8 , 1946.
- FRANCO, M. C. ; MIYASAKA, S. ; INFORZATO, R. Alguns aspectos da fisiologia ecológica do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DO FEIJÃO , 1. , Campinas, 1971. Anais. Viçosa, Impr. universitária , 1972, p. 109-18.
- GALLO, J. R. & MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. Bragantia, 20 (40): 867-84 , 1961.

- GAMMON, N. Root growth responses to soil pH adjustments made with carbonates of calcium, sodium or potassium. Proc. Soil Crop. Sci. Soc. Fla. 17: 249-54, 1957.
- GARGANTINI, H. et alii. Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo. Campinas, Inst. Agrônômico, 1970. 32 p.
- GERMECK, E. B. ; INFORZATO, R. ; FRANCO, C. Estudo do sistema radicular do arroz. Bragantia, 10(1): 89-92, 1950.
- GLÓRIA, N. A. ; CATANI, R. A. ; MATUO, T. O método do EDTA na determinação de cálcio e magnésio "trocável" do solo. Revta Agric. Piracicaba, 40: 67-74 , 1965.
- GREACEN, E. L. ; BARLEY, K. P. ; FARREL, D. A. The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution. In: WHITTINGTON, W. J. , ed. Root growth. New York, Plenum press, 1969. p. 256-69.
- GROHMANN, F. Compacidade. In: MONIZ, A. C. , coord. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, Ed. USP , 1972. Cap. 8 , p. 93-9.
- GROHMANN, F. & QUEIROZ NETO, J. A. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. Bragantia, 25 (38): 421-31, 1966.
- GUIMARÃES, G. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz semeado diretamente e plantado por mudas em duas séries do Vale do Paraíba. Bragantia, 32 (5): 137-47, 1973.

- HAAG, H. P. ; MALAVOLTA, E. ; GARGANTINI, H. ; BLANCO, H. G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, 26 (30): 381-91, 1967.
- HAAS, H. J. Effect of fertilizers, age of stand and decomposition on weight of grass roots and of grass and alfafa on soil nitrogen and carbon. Agron. J., 50(1): 5-9 , 1958.
- HALL, N. S. ; CHANDLER, W. F. ; BAVEL, C. H. M. van. ; REIO, P. H. ; ANDERSON, J. H. A tracer technique to measure growth and activity of plant root systems. Tech. Bull. N. Carol. agric. Exp. Stn., nº 101 , 1953. 40 p.
- HARDY, F. Root room. Trop. Agric. Trin., 51 (2): 272-8 , 1974.
- HENIN, S. ; GRAS, R. ; MONNIER, G. El perfil cultural ; estado físico del suelo y sus consecuencias agronomicas. Trad. de C. Roquero de Laburu. Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 1972. 342 p.
- HOAGLAND, D. R. & ARNON, I. The water culture method for growing plants without soil. Circ. Calif. agric. Exp. Stn., nº 347 , 1950.
- INFORZATO, R. & ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana de açúcar var. CO-290 em solo tipo Terra-roxa-legítima. Bragantia, 16(1): 1-15, 1957.
- INFORZATO, R. & CAMARGO, L. S. Sistema radicular do morangueiro (*Fragaria sp.*) em duas fases do ciclo vegetativo. Bragantia, 32(8): 185-91, 1973.

INFORZATO, R. & CARVALHO, A. M. de. Estudo do sistema radicular do mamoeiro (*Carica papaya*, L.) em podzolizado variação Marília. Bragantia, 26 (11): 155-60, 1967.

INFORZATO, R. & MASCARENHAS, H. A. Estudo do sistema radicular da soja (*Glycine max* (L) MERRIL), em Solo Latossolo roxo adubado ou sem adubo. Bragantia, 28 (13): 175-80, 1969.

INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do estado de São Paulo. Bragantia, 22 (38): 368-78, 1963.

INFORZATO, R. & REIS, A. J. Sistema radicular em cafeeiros novos do cultivar Mundo novo de *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 2., Poços de Caldas, 1974. Resumos dos trabalhos apresentados. Rio de Janeiro, IBC, 1974, p. 301.

INFORZATO, R. ; CAMPOS, H. R. de ; CAMARGO, L. S. Desenvolvimento do sistema radicular de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill) em plantas com diferentes idades. Bragantia, 29 (10): 106-13, 1970.

INFORZATO, R. ; GIACOMELLI, E. J. ; ROCHELLE, L. A. Sistema radicular do abacaxizeiro aos 4, 8 e 12 meses, plantado no início da estação seca em solo latosol vermelho escuro-orto. Bragantia, 27 (11): 135-41, 1968.

INFORZATO, R. ; GUIMARÃES, G. ; BORGONOVÍ, M. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz e do feijoeiro em duas séries de solo do Vale do Paraíba. Bragantia, 23(30): 365-9, 1964.

JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood-Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1958. 498 p.

- KOLESNIKOV, V. The root system of fruit plant. Moscow, MIR , 1971. 269 p.
- KNAVEL, E. D. & MOHR, H. Distribution of roots of four different vegetables under paper and polyethylene mulches. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 589-97, 1967.
- KILMER, V. J. & ALEXANDER, L. T. Methods of making mechanical analysis of soil. Soil Sci., 68 (1): 15-26 , 1949.
- KRAMER, P. J. Relaciones hidricas de suelo y plantas ; una sintesis moderna. Trad. de L. Tejada, México, Edutex, 1974, 538 p.
- KRUTMAN, S. Observações do sistema radicular da Cana IANE-C 46117 em solo de Baixada (Várzea). Bolm. téc. Inst. agron. NE (6): 25-31, 1959.
- KRUTMAN, S. Observações preliminares do sistema radicular da cana POJ 2878 e CO 331 em solo de Baixada (Vázea). Bolm. téc. Inst. agron. NE (3): 3-10, 1956.
- LEMAIRE, F. Action comparée de l'alimentation azotée sur la croissance du système racinaire et des parties aériennes des végétaux. Annls. agron., 26 (1): 59-74, 1975.
- LEON, J. Fundamentos botânicos de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica, IICA, 1968. 478 p.
- LIPPS, R. S. & FOX, R. L. Root activity of sub-irrigated Alfafa as related to soil moisture, temperature and oxygen supply. Soil Sci., 97 (1): 4-12 , 1964.

- LOTT, W. J. P. ; GALLO, R. J. ; MEDCALF, J. J. A técnica de análise foliar aplicado ao cafeeiro. Bol. Inst. agron. Campinas, nº 79, 1956.
- LOWRY, F. E. ; TAYLOR, H. M. ; HUCK, M. G. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 34(3): 306-9 , 1970.
- LUCKWILL, L. The physiological relationships of root and shoot. Sci. Hort., 14(1): 22-6, 1960.
- MAGALHÃES, C. A. & CARELLI, M. L. Germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* , L.) sob condições variadas de pressão osmótica. Bragantia, 31 (Nota 5): XIX-XXVI, 1972.
- MALAVOLTA, E. & COURY, T. Apostila de práticas de química agrícola. Piracicaba, Centro Acadêmico Luiz de Queiroz", 1954 , p. 40.
- MENEZES, O. M. & PINTO, M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* , L.) na baixada fluminense. Pesq. agropec. bras., 2: 383-8, 1967.
- MONTENEGRO, H. Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas. Piracicaba, 1960. 143 p. (Tese - ESALQ).
- NASH, V. & BALIGAR, V. C. The growth of soybean (*Glycine max*) roots in relation to soil micromorphology. Pl. Soil, 41 (1): 81-9 , 1974.
- NEPTUNE, A. M. L. ; MURAOKA, T. ; LOURENÇO, S. Distribuição do sistema radical em cafeeiro utilizando ³²P ; observações preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2. , Poços de Caldas, 1974. Resumos dos trabalhos apresentados. Rio de Janeiro, IBC , 1974. p. 303-4 .

- NIELSEN, K. F. & HUMPHRIES, E. C. Effects of root temperature on plant growth. Soils Fertil., 29(1): 1-7 , 1966.
- ORTOLANI, A. A. & PINTO, E. H. S. Temperatura do solo. In: MONIZ, A. C. , coord. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, Ed. USP, 1972. Cap. 5 , p. 59-76.
- PORTAS, C. A. Acêrca do sistema radical de algumas culturas hortícolas. Luanda, Univ. de Luanda, 1970. 241 p.
- PRATT, P. F. Química do solo ; curso intensivo. Trad. de A. Nascimento e L. Vettori. Rio de Janeiro, Aliança para o Progresso , 1966. 88 p.
- RANZANI, G. & KIEHL, E. J. Práticas de solos. Piracicaba, Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1959. 36 p.
- RANZANI, G. ; FREIRE, O. ; KINJO, T. Carta de solos do Município de Piracicaba, ESALQ - Piracicaba. Centro de Estudos de Solos , 1966. 85 p.
- REUMERINK, A. Microstructure, soil strength and root development of Asparragus on loamy sands in the Netherlands. Neth. J. Agric. Sci., 21(1): 24-43, 1973.
- ROWE, R. & BEARDSELL, D. Waterlogging of fruit trees. Hort. Abstr., 43(9): 533-48 , 1973.
- RORISON, I. H. The effect of aluminum on legume nutrition. In: HALLSWORTH, E. G., ed. Nutrition of the legumes. London , Butterworths Scientific. Publications, 1958.

- RUSSEL, R. S. & GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility ; the response of roots to mechanical impedance. Neth. J. Agric. Sci., 22(3): 305-18, 1974.
- RUSSEL, J. E. & RUSSELL, W. E. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Trad. de G. Gonzales y Gonzalez. 8. ed. Madrid, Aguilar, 1964. 771 p.
- RUSSELL, M. B. Soil aeration and plant growth. In: _____. Soil physical conditions and plant growth. New York, Academic press, 1952. p. 253-91.
- SCARDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do Município de Piracicaba, SP. Piracicaba, 1972. 83 p. (Tese - ESALQ).
- SCHUURMAN, J. & BOER, J. H. de. The effect of soil compaction at various depths on root and shoot growth of oats. Neth. J. Agric. Sci., 22 (3): 133-42, 1974.
- SCHUURMAN, J. & GOEDEWAAGEN, M. A. J. Methods for the examination of root systems and roots. Wageningen, PUOOC, 1971. 86 p.
- SHARMA, R. P. & SINGH, A. Effects of berseem (*T. alexandrinum*, L.) on the growth of maize crops on artificially compacted soil. Pl. Soil, 31 (1): 11-21, 1969.
- SING, J. N. & MACK, H. J. Effects of maximum temperatures and age on flowering and seed production in three beans varieties. Hilgardia, 33 (12): 669-87, 1962.

- TAYLOR, H. M. Cotton seedling taproot elongation as affected by soil strength changes induced by slurring and water extraction. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 31(5): 700-4 , 1967.
- TROCME, S. & GRAS, R. Suelo y fertilización en fruticultura. Trad. de J. I. de la Vega. Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 1966. 346 p.
- UNGER, P. W. & DANIELSON, R. E. Water relations and growth of Beans (*Phaseolus vulgaris* , L.) as influenced by nutrient solution temperatures. Agron. J., 59(2): 143-6 , 1967.
- VEIHMEYER, F. J. & HENDRICKSON, A. H. Soil density and root penetration. Soil Sci., 65 (4): 487-93, 1948.
- VERDADE, F. et alii. Solos da bacia de Taubaté (Vale do Paraíba). Bragantia, 20(4): 43-322, 1961.
- WEAVER, J. E. Root development of field crops. New York. McGraw-Hill, 1926.
- WEAVER, J. E. & BRUNER, W. E. Root development of vegetable crops. New York, McGraw-Hill, 1927.
- WENT, F. W. Plant growth under controlled conditions. V The relations between age, light, variety and thermoperiodicity of tomatoes. Am. J. Bot., 32: 469-72 , 1945.
- WHITE, P. R. & ELLIS, G. B. Routine counting of ³²P in colored solutions from dry ashed plant samples utilizing Cerenkov radiation. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 32 (5): 749-74 , 1968.

- WIERSUM, L. K. Potential sub-soil utilization by roots. Pl. Soil, 27 (3): 383-400 , 1967.
- WIERSUM, L. K. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. Pl. Soil, 9 (1): 75-85, 1957.
- WILKINSON, S. R. & OHLROGGE, A. J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. V Mechanisms responsible for intensive root development in fertilized zones. Agron.J., 54: 288-91, 1962.
- WIND, G. P. Root growth in acid soils. Neth. J. Agric. Sci., 15 (4): 259-66, 1967.
- WINTERS, E. & SIMONSON, R. W. The subsoil. Adv. Agron., 3: 1-19 , 1951.
- WRIGHT, K. E. & OONAHWE, B. A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. Pl. Physiol., 28: 674-80 , 1953.
- YANG, C. C. Soil hardness in relation to root growth of sugarcane. Soils Fertil. Taiwan, 27: 18-29, 1970.
- YORKE, J. S. & SAGAR, G. Distribution of secondary root growth potential in the root system of *Pisum sativum* . Can. J. Bot., 48 (5): 699-704, 1970.
- ZIMMERMAN, R. P. & KARDOS, L. T. Effects of bulk density on root growth. Soil Sci., 91(3): 28G-8, 1961.