

CONTROLE DA ÁGUA DO SOLO EM VASOS EM
EXPERIMENTOS SOBRE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES
PELO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.)

MARIA NAZARETH STOLF MONTANHEIRO

Orientador: KLAUS REICHARDT

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
Junho - 1980

Aos meus queridos pais

Ivone e Mário

D E D I C O

Ao meu marido, Plínio

e minhas filhas Renata e Ana Paula,

com muito carinho,

O F E R E Ç O

Agradecimento Especial

Ao Professor Dr. Klaus Reichardt pela orientação e estímulo e à Dra. Siu Mui Tsai Saito pela amizade, apoio constante e sugestões valiosas.

AGRADECIMENTOS

Os nossos sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, principalmente às seguintes pessoas e entidades:

- Colegas *Paulo Leonel Libardi* e *Reynaldo Luiz Victoria*, pelas sugestões e apoio oferecidos.
- *Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)* e *Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)*, pelas facilidades oferecidas.
- Colegas do CENA, da ESALQ e da UNIMEP, pelo constante apoio e carinho recebidos.
- Todos os técnicos de laboratório e estagiários do CENA, que auxiliaram na montagem dos experimentos e análises.
- Sra. *Janeti L. Bombini de Moura*, pela revisão nas citações bibliográficas e *Celso Guerino Furlan*, *João Eduardo Pilotto*, *Benedito Herculano Davanzo* e *Celso de Aguiar*, pela composição final do trabalho.

INDICE

Página

1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1. O Solo	9
4.2. Sistema de Manutenção de Tensão de Água em Vasos	9
4.3. Aplicação do Sistema em Experimentos de N e P em Feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	13
4.3.1. Experimento com ^{15}N	13
4.3.2. Experimento com ^{32}P	16
4.3.3. Controle das Tensões de Água durante os Experimentos com N e P	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. Sistema de Manutenção de Tensão de Água no Solo	19
5.2. Efeito da Água e do Nitrogênio no Feijoeiro	23
5.2.1. Tensão de Água nos Vasos, no Experimento com N	23
5.2.2. Peso Seco, N e P Totais das Plantas. Experimento com N	23
5.2.3. Nodulação e Fixação de N. Experimento com N	28
5.2.4. Utilização do Nitrogênio do Fertilizante	30
5.3. Efeito da Água e do Fósforo no Feijoeiro	34
5.3.1. Tensão de Água nos Vasos no Experimento com P	34
5.3.2. Peso Seco, P e N Totais das Plantas. Experimento com P	34
5.3.3. Nodulação e Fixação de N. Experimento com P	37
5.3.4. Absorção e Translocação do Fosfato (32)	41
5.4. Utilização de Água pelas Plantas	43
6. CONCLUSÕES	44
7. SUMMARY	46
8. LITERATURA CITADA	48

LISTA DE TABELAS .

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
1 - Umidade (θ) do solo L _{Va} , % em volume, obtida nas 3 alturas de coluna de água, determinada durante 60 dias nos vasos testes (sem plantas)	21
2 - Média das umidades e tensões de água nos tratamentos em diferentes culturas na coluna de água (H). Experimento com três doses de nitrogênio	25
3 - Efeito da umidade e nitrogênio no peso seco, N e P totais nas plantas de 45 e 70 dias de idade e nas vagens após 70 dias de plantio (média de 3 repetições)	26
4 - Efeito da umidade e nitrogênio na nodulação e fixação de N ₂ em plantas com 45 e 70 dias de idade (média de 3 repetições)	29
5 - Efeito da umidade e do nitrogênio adicionado na fração de nitrogênio derivado do fertilizante (% N _{pdf}) e na eficiência de utilização do fertilizante aplicado (% EUNF) na planta e na vagem (média de 3 repetições)	31
6 - Concentração de Nitrato (NO ₃ ⁻) no Solo (média de 3 repetições)	33

Tabela

Página

7	- Médias das umidades e tensões de água nos tratamentos com diferentes alturas na coluna de água (H). Experimento com três doses de fósforo	35
8	- Efeito da umidade e do fósforo adicionado ao solo no desenvolvimento das plantas - parte aérea e raiz. Média de 3 repetições por época (30 e 65 dias após o plantio)	36
9	- Efeito da umidade e do fósforo adicionado ao solo no peso da matéria seca e no teor de fósforo total na nodulação (peso e fósforo total nos nódulos). Médias de 3 repetições por época (30 e 65 dias após o plantio)	38
10	- Fósforo proveniente do fertilizante (% Ppdf) e eficiência de utilização de P (% EUPF) na parte aérea e raiz. (30 e 65 dias após o plantio)	42

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	- Sistema de controle de água do solo em vaso	10
2	- (a) Vaso sem solo, onde se observa internamente a cápsula porosa e os tubos flexíveis ligando a cápsula ao reservatório de água. (b) Aspecto do vaso com planta	11
3	- Curva de retenção de água do solo Latossol Vermelho Amarelo - fase arenosa	20
4	- Vista geral do experimento com os vasos colocados a diferentes alturas	24
5	- Atividade da nitrogenase em $\mu\text{moles } \text{C}_2\text{H}_2/\text{planta.h}$, aos 30 e 65 dias de idade da planta, em função da dose de fósforo em três níveis de água no solo ($U_0 = 15 \text{ atm}$; $U_1 = 2 \text{ atm}$ e $U_2 = 0,4 \text{ atm}$)	39
6	- Atividade de ^{32}P nos nódulos em contagem por minuto por vaso em função da dose de fósforo, em três níveis de água no solo ($U_0 = 15 \text{ atm}$; $U_1 = 2 \text{ atm}$ e $U_2 = 0,4 \text{ atm}$)	40

1. RESUMO

Um sistema de vaso, contendo internamente uma cápsula porosa de porcelana, foi delineado para controle de tensão de água em solos. A água era fornecida continuamente à cápsula através de uma tubulação flexível ligada a um reservatório de água, colocado abaixo do vaso. Diferenças de altura de 30, 60 e 90 cm foram empregadas para se obter três níveis distintos de tensão de água no solo, em casa de vegetação. O sistema mostrou-se adequado e versátil para o controle da água do solo. As tensões médias obtidas no solo foram maiores que as tensões fornecidas pelas cápsulas porosas, devido à alta taxa de evaporação na superfície do solo (vasos sem plantas) e a evapotranspiração (vasos com plantas).

Estudou-se nesse sistema, utilizando-se um latossol vermelho amarelo, o efeito de três regimes de água na nodulação, fixação de N_2 e a utilização do nitrogênio e fósforo do fertilizante pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Em um primeiro experimento, o nitrogênio foi adicionado sob forma de $(NH_4)_2SO_4$ empobrecido em ^{15}N (0,009 átomos % ^{15}N), nas doses de 0, 50 e 100 Kg N/ha, e, num segundo experimento, o fósforo

ro foi colocado sob forma de KH_2PO_4 à base de 0, 100 e 200 Kg P_2O_5 /ha, com ^{32}P na atividade de 50 μCi por vaso.

Foi encontrada alta correlação entre o teor de água e a nodulação do feijoeiro e a utilização de N e P do fertilizante. Maiores respostas da nodulação foram obtidas em presença de fósforo e na ausência de nitrogênio mineral, porém esses efeitos somente foram significativos quando a água foi fornecida à planta em baixas tensões (0,07 e 0,4 atm).

A eficiência de utilização de N do fertilizante chegou a 41% no início da floração, no tratamento úmido (0,07 atm) com adição de 100 Kg N/ha. De modo semelhante, foi obtida maior eficiência de utilização do fosfato quando a água foi mais disponível (0,4 atm), independente da dose de P (100 ou 200 Kg P_2O_5 /ha), durante o período compreendido entre a floração até a fase de enchimento das vagens, quando a utilização de ^{32}P chegou ao redor de 20%.

2. INTRODUÇÃO

A água é substância fundamental no crescimento e no desenvolvimento das plantas, pois além de sua função transportadora de elementos nutritivos, participa ativamente dos processos metabólicos e da elongação celular.

Qualquer cultura, durante o seu desenvolvimento, consome um enorme volume de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se pelo processo de transpiração (REICHARDT, 1978). Este fluxo de água é necessário para o desenvolvimento vegetal e por esse motivo essa taxa deve ser mantida dentro de limites ótimos para cada cultura.

O solo é o reservatório de onde as raízes das plantas vêm retirar a água necessária. A água do solo tem se tornado muitas vezes fator limitante da produtividade em situações de escassez e, mesmo, excesso. Ela afeta a transformação e absorção de nutrientes do solo, influenciando, pois, a eficiência do fertilizante. As culturas, de um modo geral, são mais sensíveis ao potencial da água do que à umidade do solo,

pois, para um mesmo potencial, diferentes solos possuem diferentes umidades, e ainda, de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, tensões de água diferentes podem ser desejáveis.

Muitas pesquisas sobre fertilidade do solo, nutrição de plantas, disponibilidade de nutrientes, eficiência de adubos, etc. têm sido realizadas em ambientes artificiais, nos quais as plantas crescem em vasos colocados em casas de vegetação com o controle da água sendo feito de forma bastante empírica. Este fato ocorre devido à dificuldade experimental de se controlar a água nestes ambientes. Mantendo-as em níveis (tensões) constantes e distintos, torna-se possível diferenciar os efeitos da água sobre a produção vegetal.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método simples de controle da tensão da água do solo em vasos, utilizando filtro de porcelana como fornecedor de água de forma contínua e constante e estudar o efeito de diferentes níveis dessa tensão na nodulação e utilização do nitrogênio e do fósforo do fertilizante pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*).

3. REVISÃO DE LITERATURA

A água atua em todos os processos fisiológicos e metabólicos da planta. Ela regula a fotossíntese em diversas etapas, seja na abertura dos estômatos, que implica na resistência de difusão ao CO₂ e vapor d'água na folha (JENSEN, 1977), seja na taxa de absorção de CO₂ pelas células do mesófilo da folha (MEIDNER, 1967). O aumento na pressão osmótica da célula, decorrente da deficiência de água, pode alterar a atividade de vários sistemas enzimáticos. BERNSTEIN (1963), PALFI (1965) e SINGH *et alii* (1973) verificaram alterações no metabolismo do nitrogênio e no crescimento de plantas de cevada quando foram induzidos déficits de água. NAIRIZI e RYDZEWSKY (1977), estudando vários tipos de cultura, determinaram o consumo de água nas várias etapas do ciclo de desenvolvimento para cálculos de épocas e quantidade de irrigação das culturas.

O nível de tensão de água no solo, em experimentos de casa de vegetação e de campo parece influir na produção de sorgo e milho (COGO e GUERRA, 1978; COGO e SOUZA, 1978; ECK e MUSICK, 1979 a,b), pois rendimentos significativamente maiores foram encontrados em solos manti-

dos a tensões mais baixas. Plantas de aveia, cultivadas sob regime de umidade insuficiente, recuperam muito pouco do N do fertilizante (SAXENA e MASCARENHAS, 1968). Esse resultado concorda com o de CAMPBELL e PAUL (1978) que, estudando o efeito da umidade do solo e do N do fertilizante no crescimento do trigo, verificaram que a quantidade de N recuperado é maior em condições úmidas do que em solos mais secos.

Na deficiência de água, alterações no metabolismo do N são verificadas em feijoeiro, ocorrendo acúmulos de NO_3^- , NH_4^+ e amino - ácidos livres e conseqüente decréscimo na formação de proteínas (FROTA E TUCKER, 1978 a). Um decréscimo na disponibilidade de água no solo causa acréscimo na concentração de N nas plantas (ABDEL RAHMAN *et alii*, 1971), pois a deficiência de água afeta mais o crescimento das plantas do que a absorção de nutrientes (FROTA e TUCKER, 1978 b).

A água do solo afeta a produção do feijoeiro (BERNARDO *et alii*, 1970), pois, deficiência de água (tensões acima de 0,5 atm) nessa cultura retarda o desenvolvimento da planta, reduz o número de vagens e o número de feijões por vagem, além de reduzir o peso dos grãos (ROBINS e DOMINGO, 1956). SMITTLE (1976) recomenda que em solo arenoso a irrigação frequente se torna necessária para produção do feijoeiro.

Os autores HORNER e MOJTEHEDI (1970) estudaram o crescimento do feijoeiro e outras leguminosas no campo, sob diferentes níveis de umidade do solo com tratamentos sem fertilizante, com N, P e NP; verificaram que na deficiência de água o florescimento foi grandemente afetado e a produção de grãos reduziu de 26%. O feijoeiro responde mais à adi

ção de P em condições de alta umidade do solo e não é afetado pelo fertilizante nitrogenado.

Em plantas de cevada, REICHMAN e GRUNES (1966) estudaram também o efeito do regime de água na absorção de N e P; constataram que a produção e absorção de P do solo e fertilizante diminuíram com o aumento da tensão de água do solo, mas que a absorção de N total não foi afetada. Idêntico comportamento do P é observado no milho (OLSEN *et alii*, 1961), ocorrendo decréscimo de 80% para 50% na sua taxa de absorção quando a tensão de água aumentou de 1 bar para 3 bars. Nessas condições, diminuição no peso seco e na turgidez das raízes foram observadas.

Estudos do efeito da umidade do solo na fixação de N₂ em leguminosas demonstraram que estas são intolerantes ao excesso e à deficiência de água no seu sistema radicular e que os nódulos, uma vez atingido 80% da turgescência máxima, ficam irreversivelmente afetados nas suas atividades (SPRENT, 1971; KORNELIUS e FREIRE, 1974). Em estudos de campo realizados por MASEFIELD (1961), verificou-se que a nodulação do feijoeiro era afetada pela irrigação, que aumentou o peso seco das plantas e o número e o peso dos nódulos. O desenvolvimento da microflora do solo parece ser favorecido quando a água está mais disponível (OKAFOR e MacRAE, 1973).

Considerando, pois, a importância da água do solo, alguns métodos foram desenvolvidos para manutenção da tensão de água em vasos. Os métodos de maior precisão requerem um alto nível técnico na montagem do sistema, e em casos de grande número de vasos, o alto custo limita

seu emprego.

Já em 1942, RICHARDS e LOOMIS estudaram com detalhe um auto-irrigador para controle do solo em experimentos com plantas, estabelecendo faixas de tensão de água nas quais o sistema podia ser empregado com maior sucesso.

Métodos de manutenção de umidade utilizando válvulas solenóides e balança foram descritos por McLAUGHLIN (1977), DICK (1977) e FREITAS e SAITO (1978). Na realidade, estes métodos não mantêm o teor de água do solo, mas sim, repõem de uma só vez a água utilizada durante um intervalo de tempo. Isto gera uma descontinuidade na disponibilidade de água para as plantas, caracterizada por grandes oscilações nas tensões do solo.

Em estudos do efeito da água do solo, como no presente trabalho, é necessário que a tensão se mantenha constante ou variando dentro de uma estreita faixa. ALVAREZ e DATTA (1977) desenvolveram uma técnica de casa de vegetação para manter continuamente a tensão de água no solo. As tensões nos vasos eram controladas por meio de tubo em forma de W contendo Hg e o sistema foi usado no estudo comparativo de tolerância do arroz ao secamento. Outro método utilizando colunas porosas em sistema sub-irrigado foi construído por PERROUX (1979) para melhor controle do potencial de água do solo, obtendo baixas variações das tensões de água. Trata-se de um sistema sofisticado, de alto custo e manutenção aparentemente difícil, que não pode ser empregado de forma extensiva em experimentos que envolvam grande número de vasos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. O Solo

O solo utilizado neste experimento foi um Latossol Vermelho amarelo, fase arenosa (Haplustox), série Sertãozinho, cujas características físico-químicas são as seguintes: Matéria Orgânica: 2,3%; pH: 5,3; 0,4; 0,5 e 0,3 mg/100 ml de solo de Al^{2+} ; Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente. Pela análise granulométrica do solo foi obtida a seguinte composição: 14% de argila, 2% de limo, 65% de areia fina e 19% de areia grossa. A caracterização físico-hídrica foi feita por CADIMA (1978).

Amostras do solo foram tamizadas (diâmetro de 2 mm) para determinação, em laboratório, de sua curva de retenção de água, segundo RICHARDS (1965).

4.2. Sistema de Manutenção de Tensão de Água em Vasos

Para controlar a tensão de água no solo em vasos foi montado um sistema especial. Este consistiu de vaso plástico de base quadra-

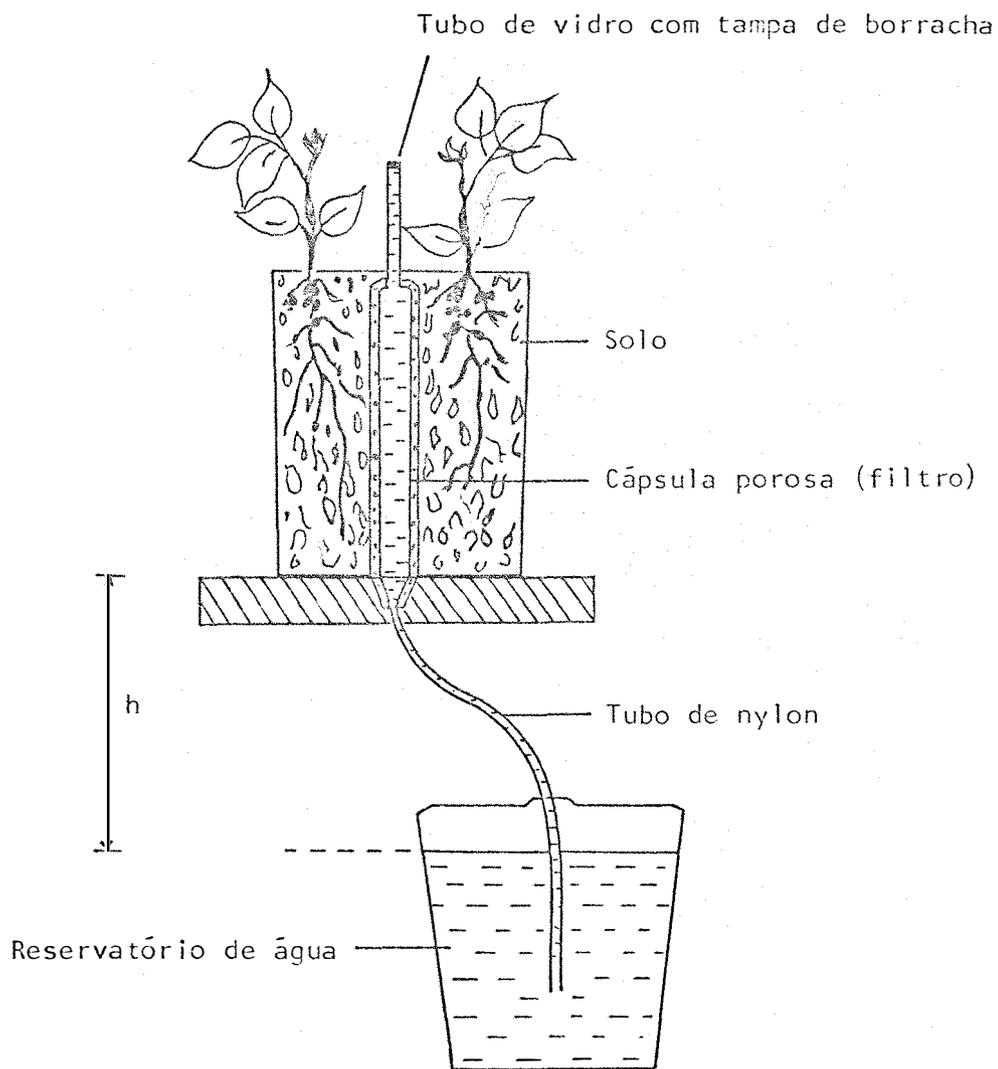


Figura 1 - Sistema de controle da água do solo em vaso.



(a)



(b)

Figura 2 - (a) Vaso sem solo, onde se observa internamente a cápsula porosa e os tubos flexíveis ligados ao reservatório de água.

(b) Aspecto do vaso com planta.

da, com 16 cm de aresta e altura de 27 cm; no centro e no fundo do vaso foi adaptado um filtro cilíndrico de porcelana para água (com 2,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura), especial para altas tensões, marca Pozzani modelo nº 801. A água era fornecida continuamente ao filtro através de uma tubulação flexível que ligava o filtro a um reservatório de água, colocado abaixo do vaso (Figuras 1 e 2). A diferença de altura (h) entre o vaso e o reservatório determinava uma tensão de água no filtro. Testes preliminares mostraram que este tipo de filtro podia suportar tensões de aproximadamente 150 cm de água. Eventuais bolhas de ar que se acumulavam no interior do filtro eram retiradas por meio de um tubo estreito de vidro (3 mm de diâmetro), soldado à parte superior do filtro.

Como se pretendia obter tensões distintas de água no solo, foram escolhidas as alturas (h) de 30, 60 e 90 cm entre o filtro e o nível de água do reservatório, correspondendo a tensões de 30, 60 e 90 cm de água nos filtros, respectivamente.

Em cada vaso foram colocados aproximadamente 5,5 Kg de solo LVa. Inicialmente, todos os vasos foram deixados durante um dia, com uma altura (h) de cerca de 20 cm, com a finalidade de saturar o solo; em seguida, foram colocados nas alturas (h) de 30, 60 e 90 cm e deixados por um período de 2 meses, durante o qual foram retiradas amostras de solo para determinação de sua umidade.

A água do reservatório fornecida ao solo era repostada diariamente até o nível demarcado.

4.3. Aplicação do Sistema em Experimentos de N e P em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

Dois experimentos foram montados utilizando-se o sistema descrito no item anterior e plantas de feijoeiro, cultivar Carioca. O primeiro consistiu em acompanhar o efeito da tensão de água do solo na nodulação e utilização de nitrogênio do fertilizante; o segundo consistiu no estudo do mesmo efeito na nodulação e utilização de fósforo.

4.3.1. Experimento com ^{15}N

Este experimento foi realizado em casa de vegetação com delineamento em fatorial 3×3 com três repetições, para 3 níveis de água (alturas h de 90, 60 e 30 cm) e 3 doses de N (0, 50 e 100 Kg/ha), usando como fonte o $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ empobrecido (0,009 átomos % ^{15}N) fornecido pela Divisão de Ciências Ambientais do CENA, Piracicaba, São Paulo. O uso de ^{15}N empobrecido como fertilizante foi comprovado por outros autores (STARR *et alii*, 1978; EDWARDS e HAUCK, 1974 e BIGERIEGO *et alii*, 1979), tendo como principal vantagem a sua maior produção em relação ao sal enriquecido com o isótopo estável, por ser subproduto de extração.

O solo LVA recebeu adubação básica de 100 Kg de P_2O_5 /ha na forma de superfosfato simples; 50 Kg K_2O /ha de KCl ; 2 toneladas de CaCO_3 /ha e 1 mL/Kg solo da seguinte solução de micronutrientes: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 150 g; NaMoO_4 - 7 g; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 15,8 g; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 8,92 g; H_3BO_3 - 1 g; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 20 g; ácido cítrico - 20 g; CoCl - 0,4 g; água destilada - 1000 mL. Em cada vaso foram semeadas 8 sementes de fei-

jão, cultivar Carioca, fornecidas pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas (SP), sendo deixadas 4 plantas após o desbaste. As sementes foram inoculadas com a estirpe 127-K17 (Nitragin Co, EUA) no momento do plantio, quando as sementes ficaram 4 horas imersas no inoculante líquido (meio YWB de FRED *et alii*, 1932).

Foram feitas duas épocas de amostragem (45 e 70 dias após plantio) correspondendo aos inícios da floração e enchimento das vagens, respectivamente. As plantas foram coletadas para medida de peso seco de planta, análise de N e P totais e ^{15}N e observação da nodulação (peso e atividade dos nódulos). O P da planta foi analisado em extrato nítrico-perclórico pelo método colorimétrico do vanadato de amônio. O N da planta foi determinado em extrato sulfúrico pelo método colorimétrico do indofenol (BREMNER, 1965).

Amostras dos solos dos vasos foram retiradas para determinação de nitrato, que foi extraído em água na proporção 1:10 e analisada sua concentração pelo método do eletrodo seletivo de íons em fluxo contínuo (RUZICKA *et alii*, 1977).

As análises isotópicas de N, na parte aérea, foram feitas em espectrômetro de massa Varian MAT, modelo CH-4. As amostras foram preparadas segundo o método de combustão por via seca (método de Dumas), de acordo com PROKSCH (1969).

O resultado dessas análises foi utilizado para o cálculo da porcentagem de N proveniente do fertilizante (% Npdf) e da eficiência de utilização do N do fertilizante (% EUNF) de acordo com as equações:

(EDWARDS e HAUCK, 1974):

$$\% \text{ Npdf} = \frac{(A - B) 100}{(C - B)} \dots\dots\dots (1)$$

e

$$\% \text{ EUNF} = \frac{(A - B) P 100}{(C - B) F} \dots\dots\dots (2)$$

onde: A = átomos % de ^{15}N na planta

B = átomos % de ^{15}N natural, ou em plantas crescendo em solo não fertilizado com ^{15}N (0,365%)

C = átomos % de ^{15}N no fertilizante (0,009%)

F = mg de N aplicado como fertilizante

P = mg de N total encontrado na planta.

A nodulação foi observada através do peso e da atividade dos nódulos pela técnica da redução do acetileno. Raízes noduladas foram colocadas em frascos de 1000 ml, dos quais foram substituídos 10% do ar atmosférico por acetileno (C_2H_2).

Após uma hora de incubação, foram retiradas amostras de 0,5 cc do gás e injetadas em um cromatógrafo de gás Beckman GC-65, com detector de ionização de chama a 175°C e coluna Poropak N de 80-100 mesh a 110°C , para determinação do etileno produzido.

Amostras de solo foram coletadas para determinação da umidade. Durante o experimento foram necessárias pulverizações periódicas

de fungicida e inseticida para manutenção da sanidade das plantas. Neste período, a temperatura da casa de vegetação apresentou grandes oscilações, tendo sido registrada uma média para temperatura máxima de $37,5^{\circ}\text{C}$ (diurna) e mínima de 16°C (noturna).

Foram efetuadas as análises de variância dos dados, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey.

4.3.2. Experimento com ^{32}P

Neste experimento foram utilizados os mesmos vasos, empregando-se as mesmas alturas (h) de 30, 60 e 90 cm e o solo LVa. Neste caso, foram estudados os efeitos destes três níveis de água e três doses de fósforo (0, 100 e 200 Kg P_2O_5 na forma de KH_2PO_4) em experimento fatorial 3×3 , com 3 repetições. Para marcação do fertilizante foi utilizado ^{32}P produzido pelo IPEN - Cidade Universitária, São Paulo, colocando-se 50 μCi por vaso.

As sementes de feijoeiro, cv. Carioca, foram inoculadas com a mesma estirpe do experimento de N (item 4.3.1.). Da mesma forma, foram deixadas 4 plantas por vaso, que receberam adubação básica de 20 Kg de N/ha na forma de uréia, 50 Kg de K_2O /ha na forma de KCl , micronutrientes (1 mL/Kg de solo da solução descrita no item 4.3.1.) e 2 toneladas de CaCO_3 /ha para corrigir o pH.

Foram feitas 2 épocas de amostragem (30 e 65 dias, respectivamente) e as plantas coletadas para determinação de peso seco, teor de

P e N totais, atividade de ^{32}P e peso de nódulos secos. Amostras de solo dos vasos foram retiradas para determinação da umidade nas épocas amostradas.

As determinações da atividade de ^{32}P nas amostras foram feitas pelo efeito Cerenkov, utilizando-se o sistema cintilador líquido Beckman LS - 230 (NASCIMENTO Fº e LOBÃO, 1977). A partir desses resultados foram calculadas as porcentagens de P proveniente do fertilizante (% Ppdf) e eficiência de utilização do P do fertilizante (% EUPE), de acordo com as equações (IAEA, 1976):

$$\% \text{ Ppdf} = \frac{\text{atividade específica de } ^{32}\text{P na planta}}{\text{atividade específica de } ^{32}\text{P no fertilizante}} \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ EUPE} = \frac{\text{atividade } ^{32}\text{P na planta}}{\text{atividade } ^{32}\text{P no fertilizante}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

A temperatura da casa de vegetação foi continuamente registrada em termôgrafo, obtendo-se uma temperatura média mínima de 16°C (no turno) e média máxima de 38°C (diurno).

4.3.3. Controle das Tensões de Água durante os Experimentos com N e P

No período em que permaneceram instalados os experimentos, foi feito o controle dos níveis de água nos reservatórios, de modo a manter a altura (h) de água e, conseqüentemente, as tensões sempre constantes.

Diariamente, era reposta nos reservatórios a quantidade de água fornecida aos vasos. Desse modo, pôde-se medir a quantidade de água utilizada pelas plantas (mm/dia).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de retenção do solo LVa está representada na Figura 3, na qual a umidade do solo é apresentada em % volume e a tensão de água em atmosferas (atm). A um intervalo de tensão compreendido entre 0,5 e 15 atm correspondeu um intervalo de umidade de 23,5 a 6,5%.

5.1. Sistema de Manutenção de Tensão de Água no Solo

A Tabela 1 mostra os dados de umidade % em volume obtidos no sistema com alturas h de 90, 60 e 30 cm de água, obtidas durante um período de 2 meses. São apresentados também valores de umidade e suas correspondentes tensões de água no solo, obtidas através da curva de retenção (Figura 3). O maior coeficiente de variação (C.V. = 22,9%) ocorreu nos vasos com altura h de 60 cm, seguido das alturas h de 90 e 30 cm com coeficiente de variação de 15,6% e 11,6%, respectivamente. Essas variações podem ser aceitas pois estão dentro da variabilidade normal dos experimentos biológicos.

Para altura $h = 90$ cm, uma umidade θ de $(7,1 \pm 1,0)\%$ volu-

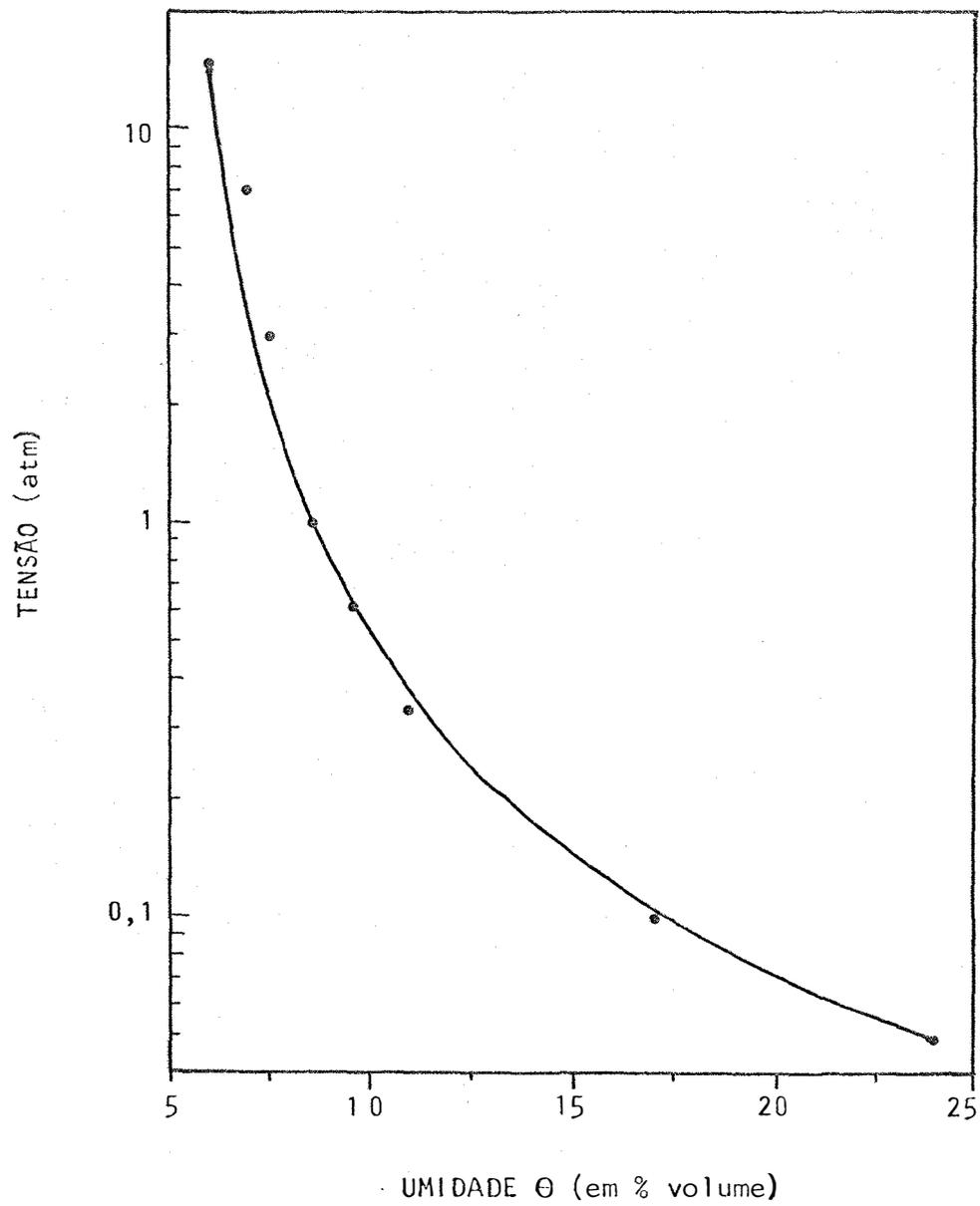


Figura 3 - Curva de retenção de água do solo Latossol Vermelho Amarelo - fase arenosa.

Tabela 1 - Umidade (θ) do solo LVa, % em volume, obtida nas 3 alturas de coluna de água, determinada durante 60 dias nos vasos testes (sem plantas).

Data da Leitura	Umidade (θ) % em Volume		
	90 cm	60 cm	30 cm
17/04	6,0	13,2	15,6
19/04	7,2	8,4	12,0
20/04	7,2	16,8	15,6
10/05	7,2	14,4	16,8
16/05	7,8	11,5	13,9
18/05	9,0	11,1	13,9
21/05	7,9	9,7	15,3
22/05	5,4	8,7	14,1
23/05	8,3	10,1	12,3
24/05	5,7	10,5	11,7
30/05	6,5	8,1	13,7
01/06	6,9	10,3	14,1
06/06	6,9	9,9	12,3
08/06	5,9	10,3	11,7
19/06	8,5	9,1	11,7
$(\bar{\theta} \pm \sigma\theta)$	$(7,1 \pm 1,0)$	$(10,8 \pm 2,4)$	$(13,9 \pm 1,6)$
Tensão Média (atm)	3,0	0,40	0,20
Intervalo de Variação (atm)	(15 a 1,5)	(0,90 a 0,20)	(0,25 a 0,03)
C V %	15,1	22,9	11,6

me foi obtida, correspondendo a uma tensão média de 3 atm e intervalo de variação entre 1,5 e 4,5 atm; para $h = 60$ cm, umidade de $(10,8 \pm 2,4) \%$ em volume e tensão média de 0,40 atm (intervalo de 0,2 e 0,6 atm); e para $h = 30$ cm, foi obtido $\theta = 13,9 \pm 1,6 \%$ em volume e tensão média de 0,19 atm (variando entre 0,03 e 0,25 atm).

Observa-se que para cada uma das tensões de água na vela correspondeu sempre uma tensão maior de água no solo. A explicação para isto está na dinâmica de transferência de água do filtro para o solo. O fluxo de água no sistema é dirigido da vela para o solo nas vizinhanças da vela e deste para as camadas adjacentes. Este fluxo é descrito pela equação de Darcy, $q = -K d\psi/dx$, onde q é a densidade de fluxo ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), K é a condutividade hidráulica do solo (cm/s) e $d\psi/dx$ o gradiente de potencial (cm/cm). Ao mesmo tempo, existe um fluxo de água e do solo para a atmosfera devido à evaporação. Supondo que $e > q$, teremos sempre potenciais no solo inferiores ao potencial na vela. No experimento, isto foi observado, visto que o solo na região mais próxima da vela permaneceu sempre mais úmido do que nas camadas mais afastadas da vela. Também o solo na superfície do vaso permaneceu sempre mais seco do que nas camadas inferiores, pois o fluxo de evaporação se deu na superfície. Mesmo com estas limitações, o sistema de vasos desenvolvido pode ser usado no estudo de culturas sob condições controladas de umidade e tensões diferentes de água ou sob diferentes regimes de água durante o desenvolvimento da cultura. Trata-se de um sistema prático, simples e econômico que pode ser empregado em experimentos com grande número de vasos.

Neste trabalho, o sistema foi empregado em estudos do efeito da tensão de água na nutrição e fixação do feijoeiro em presença de N e P. Uma vista geral do sistema de vasos cultivados com plantas de feijoeiro é mostrada na Figura 4.

5.2. Efeito da Água e do Nitrogênio no Feijoeiro

5.2.1. Tensão de Água nos Vasos, no Experimento com N

Durante o experimento ensaiando doses de N, verificou-se (Tabela 2) que os vasos mantidos à altura $h = 90$ cm mantiveram com umidade θ de $(5,1 \pm 0,2)$ % em volume e tensão média de 15 atm (variando entre 15 e 1,2 atm); para $h = 60$ cm, θ foi de $(9,1 \pm 3,1)$ % em volume e tensão média de 0,80 atm (intervalo de variação: 10 atm e 0,25 atm); e para $h = 30$ cm, θ foi de $(19,9 \pm 2,0)$ % em volume e tensão média de 0,07 atm (intervalo de variação: 0,09 atm e 0,06 atm).

De uma maneira geral, as tensões neste experimento foram maiores que no experimento sem plantas (item 5.1.). Isto pode ter sido causado pela presença das raízes que, retirando água do solo para o crescimento e transpiração da planta, provocariam um fluxo de água do solo para a planta e desta para a atmosfera, causando um decréscimo no potencial de água no solo e conseqüente aumento maior na sua tensão.

5.2.2. Peso Seco, N e P Totais das Plantas. Experimento com N.

Na Tabela 3 estão os resultados do peso de matéria seca, N e P totais da planta e vagem. O efeito da umidade nestes parâmetros foi



Figura 4 - Vista geral do experimento com os vasos colocados a diferentes alturas.

Tabela 2 - Média das umidades e tensões de água nos tratamentos em diferentes culturas na coluna de água (H). Experimento com três doses de nitrogênio.

Tratamento	Altura de Água (H) (cm)	Umidade (% vol.)	Tensão (atm)	ET (mm/dia)
U ₀	90	5,1	15	2,54
U ₁	60	9,1 b	0,80	4,61
U ₂	30	19,9 b	0,07	7,23
dms (Tukey)		3,2**		
Ç V %		17,78		

**1% de probabilidade

Tabela 3 - Efeito da umidade e nitrogênio no peso seco, N e P totais nas plantas de 45 e 70 dias de idade e nas vagens após 70 dias de plantio (média de 3 repetições).

Tratamento	(Peso matéria seca(g/vaso))			N Total (mg/vaso)			P Total (mg/vaso)		
	Planta		Vagem	Planta		Vagem	Planta		Vagem
	45 d	70 d	70 d	45 d	70 d	70 d	45 d	70 d	70 d
U ₀ N ₀	3,92	2,84	1,12	74,8	60,28	44,88	10,07	6,64	6,54
U ₀ N ₁	3,41	3,41	1,03	95,55	82,59	39,46	9,31	9,19	6,26
U ₀ N ₂	3,39	3,24	1,25	95,92	72,26	50,06	8,56	8,17	7,83
U ₁ N ₀	5,72	6,64	4,15	161,95	119,10	119,17	17,49	16,41	18,09
U ₁ N ₁	5,78	6,87	4,76	163,93	120,56	135,45	16,95	15,05	18,46
U ₁ N ₂	5,91	7,60	3,70	153,34	125,21	99,67	17,90	18,41	15,65
U ₂ N ₀	6,41	8,22	5,64	186,46	250,82	171,92	18,33	31,24	21,34
U ₂ N ₁	7,37	6,98	5,47	205,85	227,18	138,59	21,14	31,17	19,13
U ₂ N ₂	7,02	7,71	4,47	211,67	204,03	126,50	22,52	28,24	18,41
Média U ₀	3,57	3,16	1,13	88,52	71,71	44,80	9,31	8,00	6,88
Média U ₁	5,80	7,04	4,20	159,74	121,74	188,11	17,45	16,63	17,40
Média U ₂	7,02	7,64	5,19	201,32	227,34	145,67	20,68	30,22	19,62
Média N ₀	5,35	5,75	3,64	140,83	143,40	111,99	15,30	18,10	15,32
Média N ₁	5,52	5,90	3,75	155,11	143,45	104,50	15,80	18,47	14,62
Média N ₂	5,52	6,18	3,13	153,64	133,83	92,08	16,33	18,26	13,96
MEDIA GERAL	5,46	5,95	3,51	149,86	140,22	102,86	15,81	18,28	14,63
dms (Tukey)									
Umidade (U)	0,79**	1,29**	1,50**	29,48**	47,42**	45,13**	2,23**	8,09**	6,25**
Nitrogênio (N)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U dentro N	1,36**	2,24**	2,61**	51,06**	82,14**	60,04*	3,85**	14,02**	8,32**
N dentro U	-	-	-	-	-	78,17**	3,85**	-	-
U x N	-	-	-	-	-	-	4,07*	-	-
C V %	9,18	13,88	27,39	12,55	21,59	28,01	8,98	28,26	27,27

U₀, U₁ e U₂ - representam, respectivamente, 15 atm, 0,8 atm e 0,07 atm de tensão de água no solo.

N₀, N₁ e N₂ - representam, respectivamente, 0,50 e 100 Kg/ha de N na forma de ¹⁵(NH₄)₂SO₄.

d - dias

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

marcante, obtendo-se valores F a 1% de probabilidade. A máxima diferenciação entre tratamentos com diferentes umidades foi verificada em plantas com 70 dias, isto é, na época de seu máximo desenvolvimento e início do enchimento das vagens. Observa-se também a extrema necessidade de água para formação de vagens, pois, nota-se aumentos de mais de 200% em peso, N e P totais quando comparados com o tratamento mais seco ($U_0=15$ atm). Também os autores DUBETZ e MAHALLE (1969) constataram uma máxima diminuição (71%) no peso das vagens quando, na época do florescimento, ocorria alta deficiência de água. HABISH e MAHDI (1976) verificaram acréscimos no teor de N e na produção de matéria seca de feijoeiro com o aumento da umidade do solo.

O efeito da adição das doses de 50 e 100 Kg/ha de nitrogênio não foi significativo nos parâmetros estudados, mesmo quando houve maior quantidade de água disponível. Supomos que isto ocorreu porque ou o nitrogênio na forma amoniacal acidifica o meio e, portanto, não favoreceu o desenvolvimento das plantas (PAZ, 1978) ou a quantidade de N do solo mais a proveniente da fixação foi suficiente para suprir as necessidades da cultura nesse elemento (NEPTUNE e MURAKA, 1978). Constatou-se que, de um modo geral, o peso das plantas por vaso foi relativamente baixo, devido, talvez, a alta temperatura na casa de vegetação (temperatura máxima média = $37,5^{\circ}\text{C}$) que prejudica o crescimento das plantas. Nos vasos mais úmidos (0,07 atm), provavelmente, a alta taxa de evapotranspiração contribuiu para diminuir o efeito da alta temperatura na absorção de nutrientes pela planta.

A produção de matéria seca nos vasos com solos mais secos

(15 atm) não aumentou com o tempo, atingindo o máximo com 46 dias, enquanto que nos outros dois tratamentos (0,80 e 0,07 atm) ainda houve pequeno aumento no peso da matéria seca. A 0,80 atm de tensão, os aumentos obtidos no peso, N e P totais da planta e vagem nas duas épocas foram significativos em relação aos solos secos (15 atm), não diferindo muito dos aumentos obtidos em solos mais úmidos (0,07 atm).

5.2.3. Nodulação e Fixação de N. Experimento com N.

A nodulação foi influenciada principalmente pela água e em menor intensidade pela adição de nitrogênio (Tabela 4). No primeiro caso, a diminuição da água prejudicou sensivelmente a atividade (redução de acetileno) e diminuiu o peso dos nódulos, comprovando resultados anteriormente obtidos por outros autores (MASEFIELD, 1961; DIATLOFF, 1967; SPRENT, 1972).

Nos solos mais úmidos, os pesos dos nódulos superaram significativamente 5 a 10 vezes os pesos obtidos em solos secos. Esses aumentos mostram a importância da água na nodulação do feijoeiro, explicando a razão da baixa nodulação e atividade dos nódulos, em casos de longa estiagem no campo, observada também por FRANCO *et alii* (1979) e SPRENT (1972).

O efeito do nitrogênio foi aparentemente menos drástico que o da água, principalmente na atividade da nitrogenase que sofreu menos variações dentro de cada umidade mesmo em presença de doses elevadas de N (100 Kg N/ha). Porém, principalmente aos 45 dias, o peso total de

Tabela 4 - Efeito da umidade e nitrogênio na nodulação e fixação de N_2 em plantas com 45 e 70 dias de idade. (Médias de 3 repetições).

Tratamentos	Peso Seco de Nódulos (mg / vaso)		Atividade da Nitrogenase	
	45 d	70 d	μ moles C_2H_4/g nódulos.h	μ moles $C_2H_4/planta.h$
			45 d	
U_0N_0	46,80	69,87	48,52	0,84
U_0N_1	18,43	109,43	38,13	0,22
U_0N_2	36,10	107,87	31,69	0,46
U_1N_0	334,00	175,40	125,49	10,08
U_1N_1	184,00	101,47	129,38	6,35
U_1N_2	103,03	152,97	79,58	1,83
U_2N_0	468,60	218,33	64,30	7,74
U_2N_1	263,73	174,50	138,01	11,08
U_2N_2	163,37	92,53	150,83	6,06
Média U_0	33,80	95,72	39,45	0,51
Média U_1	207,01	143,28	111,48	6,09
Média U_2	298,57	161,79	117,71	8,29
Média N_0	283,13	154,53	79,44	6,22
Média N_1	155,39	128,47	101,84	5,88
Média N_2	100,83	117,79	87,37	2,78
MÉDIA GERAL	179,79	133,60	89,55	4,96
dms (Tukey)				
Umidade (U)	101,30**	-	93,85*	5,69**
Nitrogênio (N)	101,30**	-	-	-
U-dentro N	175,46**	174,29**	-	7,56**
N dentro U	175,46**	-	-	7,56**
U x N	185,16*	-	-	-
C V %	35,96	48,08	66,87	73,13

U_0 , U_1 e U_2 - representam, respectivamente, 15 atm, 0,8 atm e 0,07 atm de tensão de água no solo.

N_0 , N_1 e N_2 - representam, respectivamente, 0,50 e 100 Kg/ha de N na forma de $^{15}(NH_4)_2SO_4$.

d - dias.

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

nódulos decresceu em presença de nitrogênio, mesmo na dose de 50 Kg/ha, nos tratamentos mais úmidos. Esses resultados comprovam os obtidos anteriormente por FRANCO e DOBEREINER (1967), GUSS e DOBEREINER (1972) e PONS e GOEPFERT (1975).

O efeito negativo de N na nodulação parece ser menos significativo na deficiência de água (15 atm), afetando principalmente no crescimento dos nódulos e parecendo pouco influir no seu funcionamento (atividade da nitrogenase).

5.2.4. Utilização do Nitrogênio do Fertilizante

Na Tabela 5 estão os valores das porcentagens de N derivado do fertilizante (% Npdf), da eficiência de utilização do fertilizante aplicado (% EUNF) e % ^{15}N encontrado na planta e na vagem, aos 45 e 70 dias.

A determinação da % ^{15}N , por espectrometria de massa, foram processadas com precisão de 0,001 átomos %. Nos tratamentos que receberam ^{15}N empobrecido, as porcentagens variaram de 0,333 a 0,266 átomos % e nos demais as porcentagens naturais variaram entre 0,362 a 0,369 átomos %.

A utilização do N do fertilizante (% EUNF) foi influenciada pela presença da água. Quando do início do desenvolvimento da planta a disponibilidade de água e adição de N (^{15}N) contribuíram para o aumento da absorção de N do fertilizante (maior % Npdf) pela planta, obtendo-se no

Tabela 5 - Efeito da umidade e do nitrogênio adicionado na fração de nitrogênio derivado do fertilizante (% Npdf) e na eficiência de utilização do fertilizante aplicado (%EUNF) na planta e na vagem. (Média de 3 repetições).

Tratamento	% Npdf			% EUNF			% ¹⁵ N		
	Planta		Vagem	Planta		Vagem	Planta		Vagem
	45 d	70 d	70 d	45 d	70 d	70 d	45 d	70 d	70 d
U ₀ N ₀	0	0	0	0	0	0	0,365	0,363	0,369
U ₀ N ₁	12,57	8,27	15,56	12,50	6,96	6,12	0,321	0,333	0,313
U ₀ N ₂	24,44	22,41	28,61	12,08	8,09	8,09	0,278	0,284	0,266
U ₁ N ₀	0	0	0	0	0	0	0,365	0,362	0,367
U ₁ N ₁	17,13	10,20	11,08	28,14	12,32	15,14	0,304	0,326	0,327
U ₁ N ₂	34,83	22,98	24,49	26,70	14,63	12,45	0,241	0,281	0,279
U ₂ N ₀	0	0	0	0	0	0	0,367	0,362	0,364
U ₂ N ₁	14,20	10,08	8,82	29,84	22,10	11,47	0,315	0,329	0,333
U ₂ N ₂	38,38	25,33	21,11	41,12	26,28	13,58	0,229	0,272	0,289
Média U ₀	18,49	15,35	22,08	12,27	7,52	6,65	0,321	0,327	0,316
Média U ₁	25,98	16,59	17,77	27,47	13,48	13,79	0,303	0,323	0,325
Média U ₂	26,27	17,70	14,96	35,48	24,19	12,52	0,304	0,321	0,329
Média N ₀	0	0	0	0	0	0	0,365	0,362	0,367
Média N ₁	14,63	9,52	11,82	23,49	13,79	10,91	0,313	0,330	0,324
Média N ₂	32,55	23,57	24,74	26,63	16,33	11,07	0,249	0,279	0,278
MEDIA GERAL	23,59	16,55	18,28	25,06	15,06	10,99	0,310	0,324	0,323
dms (Tukey)									
Umidade (U)	5,64**	-	6,22**	8,69**	5,67**	4,08**	0,013**	-	-
Nitrogênio (N)	3,94**	3,78**	5,82**	-	-	-	0,013**	0,012**	0,019**
U dentro N	7,98**	-	-	12,29**	8,04**	5,77**	0,022**	-	-
N dentro U	6,82**	6,54**	10,08**	10,52**	-	-	0,022**	0,021**	0,332**
U x N	9,64**	-	-	11,56*	-	-	0,028**	-	-
C V %	11,60	15,84	22,11	16,82	18,31	18,00	2,61	2,38	3,67

U₀, U₁ e U₂ - Representam, respectivamente, 15 atm, 0,8 atm e 0,07 atm de tensão de água no solo

N₀, N₁ e N₂ - Representam, respectivamente, 0,50 e 100 Kg/ha de N na forma de ¹⁵(NH₄)₂SO₄.

d - dias

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

tratamento U_2N_2 (0,07 atm e 100 Kg N/ha) a maior eficiência no uso do fertilizante (EUNF = 41,12%), valor este três vezes superior ao tratamento mais seco nas duas doses de N.

De um modo geral, a utilização de N do fertilizante nos tratamentos com 50 Kg N/ha, tanto pela planta quanto pela vagem, foi comparável com a de 100 Kg N/ha, apesar de se ter obtido maior porcentagem de N do fertilizante (% Npdf) com a dose maior de N em todos os parâmetros estudados (resultados semelhantes foram encontrados por NEPTUNE e MURAOKA, 1978).

Verificou-se que a máxima utilização de N do adubo pela planta (tratamento U_2N_2 = solo mais úmido e 100 Kg N/ha) não correspondeu a uma maior utilização de N do adubo pelas vagens, indicando que um acréscimo de fertilizante resulta em aumento de matéria verde mas não de vagens (sementes).

Observou-se (Tabela 6) que o teor de nitrato no solo foi significativamente maior nos tratamentos mais úmidos; não se verificou, entretanto, influência da adição de fertilizante nitrogenado na concentração de nitrato no solo.

Tabela 6 - Concentração de Nitrato (NO_3^-) no Solo (Médias de 3 Repetições)

Tratamento	NO_3^- (ppm de N)	
	45 d	70 d
$U_0 N_0$	4,62	4,38
$U_0 N_1$	6,29	3,90
$U_0 N_2$	5,13	4,03
$U_1 N_0$	6,90	4,19
$U_1 N_1$	3,98	4,08
$U_1 N_2$	4,06	3,79
$U_2 N_0$	12,65	4,96
$U_2 N_1$	12,98	4,88
$U_2 N_2$	13,16	4,12
Média U_0	5,35	4,11
Média U_1	4,98	4,02
Média U_2	12,93	4,65
Média N_0	8,06	4,51
Média N_1	7,75	4,29
Média N_2	7,45	3,98
Média Geral	7,75	4,26
dms (Umidade)	4,11**	-
dms (Nitrogênio)	-	-
dms (U dentro N)	7,12**	-
dms (N dentro U)	-	-
C V %	33,87	18,78

U_0 , U_1 e U_2 - representam, respectivamente, 15 atm, 0,8 atm e 0,07 atm de tensão de água no solo.

N_0 , N_1 e N_2 - representam, respectivamente, 0,50 e 100 Kg/ha de N na forma de $^{15}\text{(NH}_4\text{)}_2\text{SO}_4$.

d - dias.

** - 1% de probabilidade

5.3. Efeito da Água e do Fósforo no Feijoeiro

5.3.1. Tensão de Água nos Vasos no Experimento com Fósforo

Nos vasos com três tratamentos de fósforo, colocados a alturas h de 30, 60 e 90 cm, obtivemos, conforme Tabela 7, respectivamente, os teores de água de $(10,76 \pm 4,46)$, $(7,12 \pm 3,37)$ e $(5,52 \pm 0,51)$ % em volume, correspondendo a tensões de 0,4 atm (variando entre 10 atm e 0,1 atm), 2 atm (entre 15 atm e 5 atm) e 15 atm (entre > 15 atm e 10 atm).

Pelas mesmas razões explicadas no item 5.2.1., as tensões no solo com plantas foram superiores às tensões do solo sem plantas.

5.3.2. Peso Seco, P e N Totais das Plantas. Experimento com P.

Observa-se, pela Tabela 8, que tanto o fósforo como a água do solo influíram no aumento do peso seco e da absorção do fósforo e nitrogênio pela planta. A água atuou como fator primordial e o feijoeiro mostrou ser uma planta altamente dependente de água desde o início de seu estabelecimento. Quando a água foi fornecida em quantidade suficiente (0,4 atm), o desenvolvimento das plantas foi normalizado. Nestas condições, ocorreram as máximas respostas ao fosfato (^{32}P) adicionado, observadas principalmente através do aumento da parte aérea.

A necessidade de P pelo feijoeiro foi comprovada anteriormente pelos autores EIRA *et alii* (1974) e VIEIRA e GOMES (1961).

Tabela 7 - Médias das Umidades e Tensões de Água nos Tratamentos com Diferentes Alturas na Coluna de Água (H). Experimento com Três Doses de Fósforo.

Tratamento	Altura da Água H (cm)	Umidade (% vol.)	Tensão (atm)	ET (mm/dia)
U ₀	90	5,52	15	1,06
U ₁	60	7,12	2	1,28
U ₂	30	10,76	0,4	4,61
dms (Tukey)		5,00**		
C V %		40,9		

** - 1% de probabilidade.

Tabela 8 - Efeito da umidade e do fósforo adicionado ao solo no desenvolvimento das plantas - parte aérea e raiz. Média de 3 repetições por época (30 e 65 dias após o plantio).

Tratamento	Peso de Matéria Seca (g/vaso)				P Total (mg/vaso)				N Total (mg/vaso)	
	Parte Aérea		Raiz		Parte Aérea		Raiz		Parte Aérea	
	30 d	65 d	30 d	65 d	30 d	65 d	30 d	65 d	30 d	65 d
U ₀ P ₀	2,1	2,6	0,7	0,7	1,9	3,3	0,9	0,8	67,3	93,5
U ₀ P ₁	2,2	3,4	1,5	1,2	3,3	10,1	2,0	2,2	68,2	97,4
U ₀ P ₂	3,3	4,8	2,1	3,2	5,4	10,1	3,1	4,4	100,9	118,8
U ₁ P ₀	2,4	2,9	0,9	0,9	2,3	4,4	0,8	1,1	76,5	98,2
U ₁ P ₁	2,9	4,8	1,8	2,4	3,9	9,2	2,3	3,8	77,5	102,3
U ₁ P ₂	4,1	5,1	2,7	2,8	5,5	11,5	4,2	4,7	94,1	101,9
U ₂ P ₀	4,3	9,1	1,3	1,7	4,7	15,9	1,5	2,1	142,4	270,4
U ₂ P ₁	8,7	14,8	2,2	3,6	9,5	28,5	4,3	5,4	248,4	360,0
U ₂ P ₂	14,0	28,7	3,7	6,3	24,4	46,2	6,7	8,9	515,5	635,4
Média U ₀	2,5	3,6	1,4	1,7	3,6	7,8	2,0	2,5	78,8	103,2
Média U ₁	3,1	4,3	1,8	2,0	3,9	8,4	2,4	3,2	82,7	100,8
Média U ₂	9,0	17,5	2,4	3,9	12,9	30,2	4,1	5,5	302,1	321,9
Média P ₀	2,9	4,9	1,0	1,1	2,9	7,9	1,1	1,3	95,4	154,0
Média P ₁	4,6	7,7	1,8	2,4	5,6	16,0	2,9	3,8	131,4	186,6
Média P ₂	7,2	12,9	2,8	4,1	11,8	22,6	4,6	6,0	236,8	285,4
MÉDIA GERAL	4,9	8,5	1,9	2,5	6,7	15,5	2,9	3,7	154,5	209,7
dms										
Umidade (U)	2,4**	2,6**	0,5**	0,9**	3,3**	5,5**	1,0**	1,3**	53,7**	61,0**
Fósforo (P)	2,4**	2,6**	0,5**	0,9**	3,3**	5,5**	1,0**	1,3**	53,7**	61,0**
U dentro P	4,2**	4,5**	0,9**	1,6**	5,8**	9,6**	1,8**	2,3**	71,4**	105,7**
P dentro U	4,2**	4,5**	0,9**	1,6**	5,8**	9,6**	1,8**	2,3**	93,0**	105,7**
U x P	5,4**	5,8**	-	2,1**	7,5**	12,4**	1,8*	2,4*	120,3**	136,7**
C V %	31,6	19,7	18,6	23,6	31,5	22,8	22,7	22,9	22,2	18,7

U₀, U₁ e U₂ - representam, respectivamente, 15, 2 e 0,4 atm de tensão de água no solo.

P₀, P₁ e P₂ - representam, respectivamente, 0, 100 e 200 Kg/ha de P na forma de ³²P₂O₅.

d - dias.

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

Nas outras tensões de água (2 e 15 atm), as plantas apresentaram-se pouco desenvolvidas e sem nenhuma resposta às aplicações de fosfato até os 65 dias de idade. O desenvolvimento do sistema radicular medido através do peso seco de raiz (Tabela 8) foi favorecido significativamente pelo fósforo, mesmo nas tensões de 2 e 15 atm.

O fósforo e o nitrogênio totais, tanto na parte aérea quanto nas raízes, apresentaram os mesmos padrões e respostas ao fosfato e à água do solo. A 0,4 atm de tensão, o fosfato atuou em ambas as doses (100 e 200 Kg/ha) e respostas crescentes e lineares puderam ser obtidas. Nas tensões de 2 e 15 atm não houve diferenças significativas no fósforo total da parte aérea com os três tratamentos de P, exceto nas raízes. Também o nitrogênio da parte aérea só aumentou significativamente quando a água foi fornecida em maior quantidade, indicando que, na deficiência de água, o feijoeiro tem baixa capacidade de síntese de proteínas. Nessas condições, nem aumentos do sistema radicular como resposta à adubação fosfatada puderam modificar a baixa absorção de N pelas plantas.

5.3.3. Nodulação e Fixação de N. Experimento com P.

Na Tabela 9 estão os dados referentes à nodulação (peso e fósforo total nos nódulos) e nas Figuras 5 e 6 a atividade da nitrogenase e de ^{32}P nos nódulos. Os efeitos da água e do fósforo foram pronunciados, porém, somente quando os dois fatores estavam presentes foi possível observar uma nodulação mais abundante. Os mesmos efeitos do P na nodulação foram anteriormente observados em diversas leguminosas tropicais por KOLLING *et alii* (1975, 1976) e em cultura de feijoeiro por FONTES (1972).

Tabela 9 - Efeito da umidade e do fósforo adicionado ao solo no peso da matéria seca e no teor de fósforo total na nodulação (peso e fósforo total nos nódulos). Médias de 3 repetições por época (30 e 65 dias após o plantio).

Tratamentos	Peso Seco de Nódulos (mg/vaso)		Fósforo Total nos Nódulos (mg/vaso)	
	30 d	65 d	30 d	65 d
U ₀ P ₀	3,0	0,0	0,01	0,00
U ₀ P ₁	8,7	9,3	0,02	0,03
U ₀ P ₂	14,3	7,3	0,05	0,02
U ₁ P ₀	7,3	0,0	0,03	0,00
U ₁ P ₁	31,3	18,0	0,10	0,06
U ₁ P ₂	50,3	31,7	0,13	0,08
U ₂ P ₀	4,7	81,7	0,01	0,24
U ₂ P ₁	272,0	169,3	0,82	0,51
U ₂ P ₂	579,7	126,0	1,77	0,32
Média U ₀	8,7	5,6	0,02	0,02
Média U ₁	29,7	16,6	0,09	0,05
Média U ₂	285,4	125,7	0,87	0,36
Média P ₀	5,0	27,2	0,02	0,08
Média P ₁	104,0	65,6	0,31	0,19
Média P ₂	214,0	55,0	0,65	0,14
MÉDIA GERAL	107,9	49,3	0,33	0,14
dms (Tukey)				
Umidade (U)	85,8**	31,2**	0,22**	0,09**
Fósforo (P)	85,8**	31,2**	0,22**	0,09**
U dentro P	148,6**	54,1**	0,38**	0,15**
P dentro U	148,6**	54,1**	0,38**	0,15**
U x P	192,2**	57,1*	0,49**	0,20**
C V %	50,7	40,5	42,45	40,36

U₀, U₁ e U₂ - representam, respectivamente, 15 atm, 2 atm e 0,4 atm de tensão de água no solo.

P₀, P₁ e P₂ - representam, respectivamente, 0, 100 e 200 Kg/ha de P na forma de ³²P₂O₅.

d - dias

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

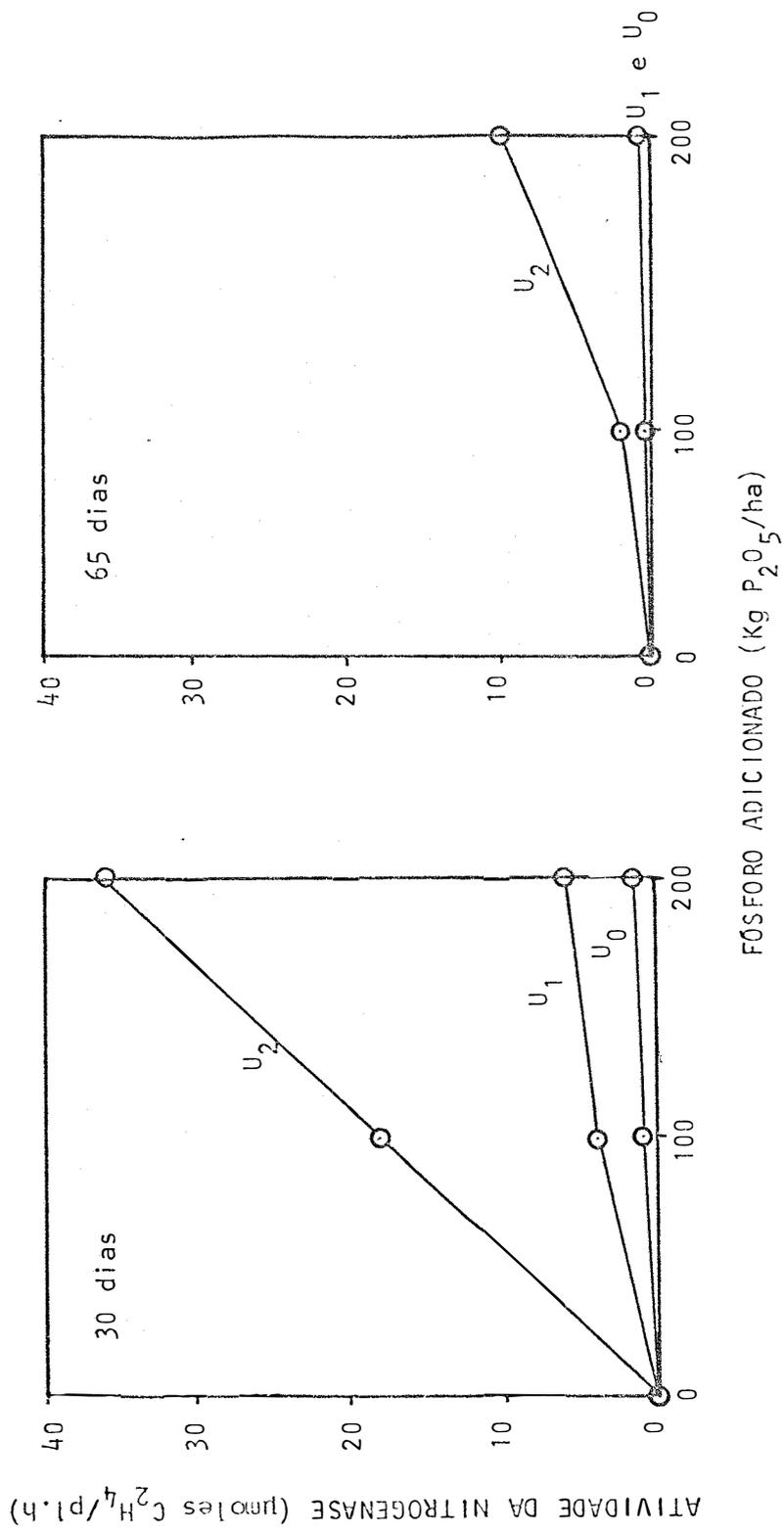


Figura 5 - Atividade da nitrogenase em $\mu\text{moles C}_2\text{H}_4/\text{planta.h}$, aos 30 e 65 dias de idade da planta, em função da dose de fósforo em três níveis de água no solo ($U_0 = 15 \text{ atm}$; $U_1 = 2 \text{ atm}$ e $U_2 = 0,4 \text{ atm}$).

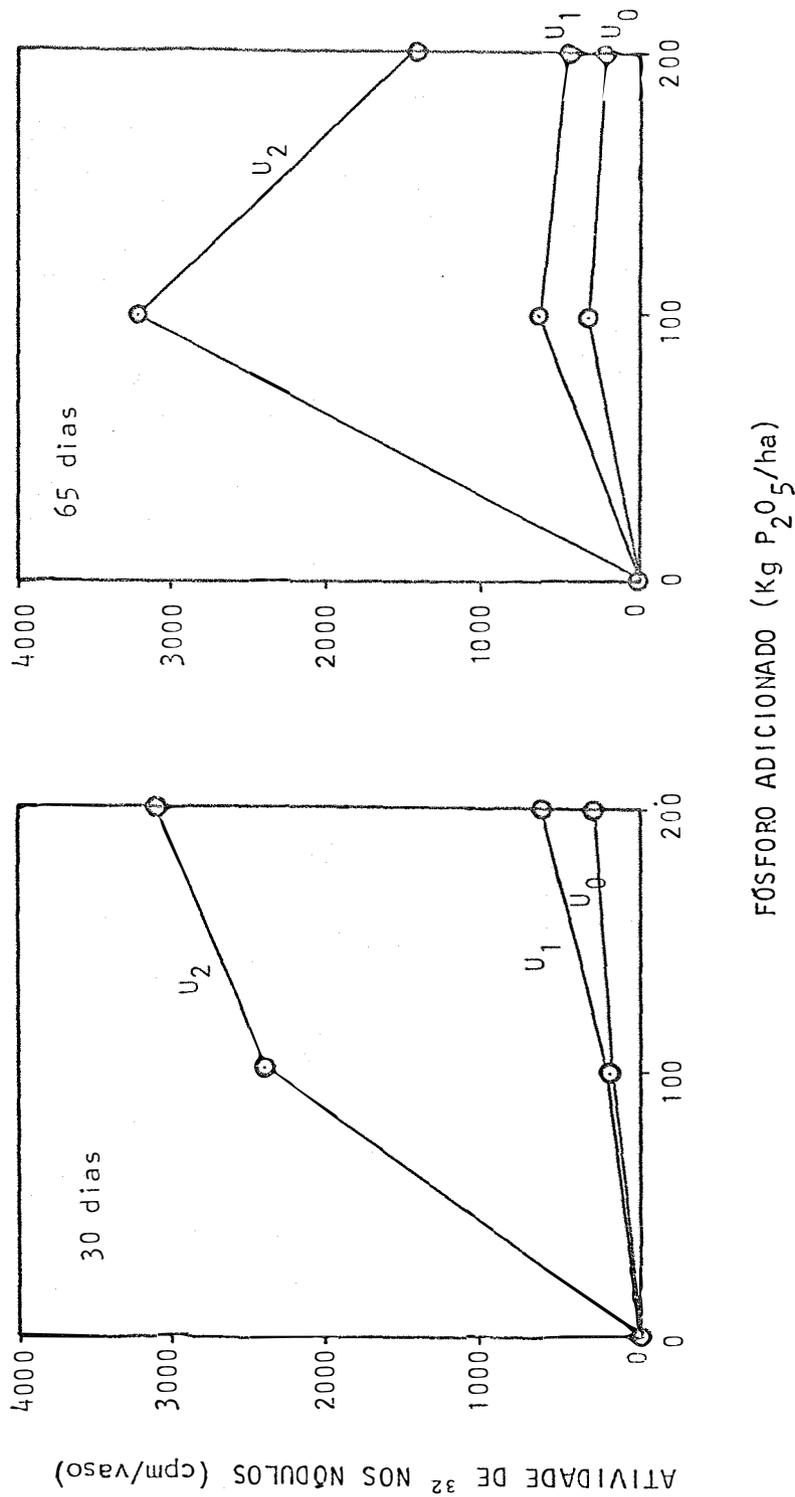


Figura 6 - Atividade de ³²P nos nódulos em contagem por minuto por vaso em função da dose de fósforo, em três níveis de água no solo (U₀ = 15 atm; U₁ = 2 atm; U₂ = 0,4 atm).

Os dados também estão em concordância com os obtidos por ANDREW e ROBBINS (1969), os quais verificaram aumento do teor de N com o aumento das doses de fosfatos aplicados em diversas leguminosas tropicais.

O solo LVa mostrou ser deficiente em P, pois as respostas para peso de nódulos foram marcantes e proporcionais até a dose de 200 Kg P_2O_5 /ha. Com quantidades suficientes de P e água, a nodulação persiste até a fase de enchimento das vagens.

Pelas Figuras 5 e 6 observamos que ambos os fatores foram responsáveis pelo bom funcionamento dos nódulos (atividade da nitrogenase) desde o início do desenvolvimento da planta. A presença de maior quantidade de fósforo (^{32}P) no nódulo pode ter contribuído para o aumento da eficiência da fixação de N_2 (redução de C_2H_2) quando na sua fase mais ativa (30 dias), como demonstram as Figuras 5 e 6.

5.3.4. Absorção e Translocação do Fosfato (^{32}P)

Na Tabela 10 estão os resultados da porcentagem de P proveniente do fertilizante (%Ppdf) e de eficiência de utilização de P (%EUPF)

A absorção de ^{32}P (medida através de % Ppdf) aumentou tanto pela disponibilidade de água quanto pela dose de ^{32}P adicionado. A absorção foi relativamente alta, sendo que a % Ppf variou de 27,4% a 68,3% na parte aérea e de 24,5% a 60,0% na raiz e intensificando-se após a floração (após 30 dias do plantio) com maior acúmulo de P na parte aérea. Maior translocação de fósforo da raiz para a parte aérea foi também observada em alguns tratamentos no período compreendido entre a floração e o

Tabela 10 - Fósforo proveniente do fertilizante (% Ppdf) e eficiência de utilização de P (% EUPF) na parte aérea e raiz. (30 e 65 dias após o plantio).

Tratamentos	% Ppdf				% EUPF			
	Parte Aérea		Raiz		Parte Aérea		Raiz	
	30 d	65 d	30 d	65 d	30 d	65 d	30 d	65 d
U ₀ P ₀	-	-	-	-	-	-	-	-
U ₀ P ₁	29,6	27,4	24,5	24,5	1,2	1,6	0,6	0,9
U ₀ P ₂	41,3	58,4	45,6	26,3	1,3	3,5	0,9	1,0
U ₁ P ₀	-	-	-	-	-	-	-	-
U ₁ P ₁	35,3	50,9	32,4	44,8	1,7	5,6	1,0	2,1
U ₁ P ₂	45,3	57,0	43,0	56,0	1,5	3,8	1,1	1,6
U ₂ P ₀	-	-	-	-	-	-	-	-
U ₂ P ₁	48,9	57,3	48,7	44,6	5,8	19,8	2,5	2,9
U ₂ P ₂	66,1	68,3	61,6	60,0	9,6	19,1	2,5	3,2
Média U ₀	35,5	42,9	35,0	25,4	1,3	2,5	0,7	1,0
Média U ₁	40,3	54,0	37,7	50,4	1,6	4,7	1,0	1,8
Média U ₂	57,5	62,8	55,2	52,3	7,8	19,5	2,5	3,0
Média P ₀	-	-	-	-	-	-	-	-
Média P ₁	37,9	45,2	35,2	38,0	2,9	9,0	1,4	2,0
Média P ₂	50,9	61,2	50,1	47,5	4,2	8,8	1,5	1,9
MÉDIA GERAL	44,4	53,2	42,6	42,7	3,5	8,9	1,4	2,0
dms (Tukey)								
Umidade (U)	10,5**	12,3**	11,2**	24,8**	3,4**	3,7**	0,5**	0,8**
Fósforo (P)	7,4**	8,6**	7,8**	-	-	-	-	-
U dentro P	14,9**	17,5**	15,8**	35,1**	4,8**	5,3**	0,7**	1,1**
P dentro U	9,1*	10,6*	9,6**	-	2,9*	-	-	-
U x P	-	21,08**	-	-	-	-	-	-
C V %	11,5	11,2	12,7	37,8	45,9	20,3	17,8	19,7

U₀, U₁ e U₂ - representam, respectivamente, 15 atm, 2 atm e 0,4 atm de tensão de água no solo.

P₀, P₁ e P₂ - representam, respectivamente, 0, 100 e 200 Kg/ha de P na forma de ³²P₂O₅.

d - dias.

** - 1% de probabilidade

* - 5% de probabilidade

enchimento das vagens (de 30 a 65 dias), determinada pela diminuição da porcentagem de fósforo do fertilizante (%Ppdf) nas raízes e consequente aumento (%Ppdf) na parte aérea.

A eficiência de utilização do fosfato (% EUPF) aumentou com o teor de água do solo. As maiores eficiências foram obtidas somente em solos mais úmidos (0,4 atm), independentes da dosagem de fosfato adicionado.

5.4. Utilização de Água pelas Plantas

Nas Tabelas 2 e 7 estão os valores de evapotranspiração média (ET) dos experimentos com N e P, respectivamente. Verificou-se que valores maiores de ET foram observados a tensões menores de água no vaso. Nas altas tensões de água, as perdas de água foram menores. Isto foi devido, em parte, à diminuição da área foliar causada pela deficiência de água e também, em parte, pelo aumento na resistência à difusão estomatal que, geralmente, ocorre sob condições de alta radiação solar.

6. CONCLUSÕES

O sistema de controle de água do solo em vasos mostrou-se adequado para ensaios de casa de vegetação, podendo ser usado em experimentos de duração longa, desde que sejam feitas inspeções frequentes, certificando-se não haver interrupção nas colunas de água entre a cápsula porosa e o reservatório.

A altura h , entre o nível de água no reservatório e a cápsula porosa, estabelece uma tensão de $-h$ cm H_2O dentro da cápsula.

As tensões médias no solo mantiveram-se, de um modo geral, sempre maiores que as tensões na cápsula porosa pelo fato de o fluxo de evaporação ter sido superior ao fluxo de água no solo. Para o solo LVa as alturas $h = 30, 60$ e 90 cm determinaram três níveis de tensão significativamente diferentes, da ordem de $0,1; 0,5$ e 10 atm, respectivamente. A simplicidade da montagem e manutenção do sistema indica a possibilidade de seu emprego em experimentos com grande número de vasos, a baixo custo.

O estudo do sistema permite ainda sugerir sua utilidade em

alguns estudos da relação solo-planta-atmosfera-água, tais como o desenvolvimento das culturas sob condições controladas de água (tensão constante), em diferentes níveis e sob regimes diferentes de água.

No experimento com três doses de N (0,50 e 100 Kg N/ha) e três níveis de tensão de água no solo, foi encontrado efeito marcante da umidade, verificando-se maiores valores de peso seco de plantas e vagens em tensões mais baixas. As quantidades de N e P totais no solo úmido (0,07 atm) foram 200% superiores ao solo seco (15 atm). No entanto, o efeito das doses de 50 e 100 Kg N/ha não foi significativo mesmo a tensões mais baixas. A nodulação e atividade da nitrogenase foi grandemente favorecida pela água e muito pouco pela adição de N. A água do solo a baixas tensões e a adição de N no solo aumentaram a eficiência de utilização de N e a absorção desse elemento pelo feijoeiro (Npdf), sendo encontrados valores máximos de 41% e 38%, respectivamente. ^{15}N empobrecido pode ser medido com precisão ($\pm 0,001\%$) mostrando a possibilidade de sua utilização da mesma forma que o enriquecido com a vantagem de seu custo ser mais baixo, pois é subproduto de extração.

No experimento com três doses de P e três tensões de água no solo, foram encontradas altas correlações entre o teor de água e a nodulação do feijoeiro e a utilização de P do fertilizante. Maiores respostas da nodulação foram observadas em presença do fósforo, quando a água foi fornecida à planta em baixas tensões. A eficiência de utilização do P chegou a 20%, independente da dose (100 ou 200 Kg P_2O_5 /ha) quando a água foi mais disponível (0,4 atm).

7. SUMMARY

A pot system, containing internally a porous porcelain capsule, was performed to control water tension in soils. The water was continuously supplied to the capsule through a flexible tubulation connected to a water reservoir, located at a lower level. Different heights h (30, 60 and 90 cm) were employed to obtain three distinct water tensions in the capsules, which in turn determined distinct water tensions in the soil. The system has demonstrated to be adequate and versatile to control water tension in greenhouse experiments. The average tensions in the soil were superior to the tensions in the capsules, due to the high evaporation fluxes in the pots even without plants.

This system was used to study the effect of three water regimes in nodulation, N_2 fixation and nitrogen and phosphorus fertilizers in common dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.), using a yellow-red Latossol. In a first experiment, the nitrogen was added as $(NH_4)_2SO_4$, depleted in ^{15}N (0,009 atoms % ^{15}N), at the rates of 0, 50 and 100 Kg N/ha and in a second, the phosphorus was added as KH_2PO_4 at rates of 0, 100 and 200

Kg P₂O₅/ha, with ³²P activity of 50 μCi per pot.

A high correlation was observed among water content, nodulation, N and P utilization. Better responses in nodulation were obtained in the presence of phosphorus and in the absence of mineral nitrogen; however, these effects were only significant when the water was added to plants under low tensions (0,07 and 0,4 atm).

The efficiency of fertilizer utilization reached 41% in the early flowering period, in the moist treatment (0,07 atm) with 100 Kg N/ha addition. Similarly, a higher efficiency was obtained in the fertilizer-P utilization when water was available (0,4 atm), independent of P doses (100 or 200 Kg P₂O₅/ha), during flowering to pod formation period, when P utilization reached around 20%.

8. LITERATURA CITADA

- ABDEL RAHMAN, A.A.; A.F. SHALABY e M.O. EL-MONAYERI, 1971. Effect of Moisture Stress on Metabolism Products and Ions Accumulation. *Plant and Soil*, 34: 65-90.
- ALVAREZ, E.T. e S.K. DATTA, 1977. Automatick Feedback Control to Mantain Constant Soil Moisture Tension in the Study of Drought Tolerance in Rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 452-454.
- ANDREW, C.S. e M.F. ROBINS, 1969. The Effects of Phosphorus on the Growth and Chemical Composition of Some Tropical Pasture Legumes. 1. Growth and Critical Percentagens of Phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 665-674.
- BERNARDO, S.; J.D. GALVÃO; H. GUERRINI e J.B. de CARVALHO, 1970. Efeito dos Níveis de Água do Solo sobre a Produção do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). *Seiva* 30: 7-13.

- BERNSTEIN, L., 1963. Osmotic Adjustment of Plants to Saline Media. II. Dynamic Phase. *J. Bot.* 50: 360-370.
- BIGERIEGO, M.; R.D. HAUCK e R.A. OLSON, 1979. Uptake, Translocation and Utilization of ^{15}N -Depleted Fertilizer in Irrigated Corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 528-533.
- BREMMER, J.J., 1965. Inorganic Forms of Nitrogen. In: BLACK, C.A. ed., Methods of Soil Analysis. Madison, Wisc., Amer. Soc. Agron. Part 2. p. 1179-1237.
- CADIMA Z., A., 1978. *Caracterização Físico-Hídrica de um Latossol Vermelho Amarelo-fase arenosa (HAPLUSTOX)*. Piracicaba, ESALQ/USP. 78p. (Tese de Doutorado).
- CAMPBELL, C.A. e E.A. PAUL, 1978. Effects of Fertilizer N and Soil Moisture on Mineralization, N Recovery and A-Values, under Spring Wheat Grown in Small Lysimeters. *Can. J. Soil Sci.* 58: 39-51.
- COGO, N.P. e L.S. SOUZA, 1978. Água no Solo e Rendimento das Culturas em Experimentos em Casa de Vegetação. II. Milheto (*Pennisetum americanum*), em Solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico. *R. bras. Ci. Solo* 2: 13-16.
- COGO, N.P. e M. GUERRA, 1978. Água do Solo e Rendimento das Culturas em Experimentos em Casa de Vegetação. I. Sorgo (*Sorghum vulgare*), em Solos Vertissolo, Latossolo Roxo Distrófico e Podzólico Vermelho

Amarelo. *R. bras. Ci. Solo* 2: 10-17.

DIATLOFF, A., 1967. Effect of Soil Moisture Fluctuation on Legume Nodulation and Nitrogen Fixation in a Black Earth Soil. *Queensland J. Agric. An. Sci.* 24: 315-321.

DUBETZ, S. e P.S. MAHALLE, 1969. Effects of Soil Water Stress on Bush Beans *Phaseolus vulgaris* L. at Three Stages of Growth. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94: 479-481.

DYCK, F.B., 1977. A Precise Automatic Water Dispenser for Plants Growing in Pots. *Can. J. Plant Sci.* 57: 617-618.

ECK, H.V. e J.T. MUSICK, 1979. Plant Water Stress Effects on Irrigated Grain Sorghum. I. Effects on Yield. *Crop Science* 19: 589-592.

ECK, H.V. e J.T. MUSICK, 1979. Plant Water Stress Effects on Irrigated Grain Sorghum. II. Effects on Nutrients in Plant Tissues. *Crop Science* 19: 592-598.

EDWARDS, A.P. e R.D. HAUCK, 1974. Nitrogen-15-Depleted versus Nitrogen-15-Enriched Ammonium Sulphate as Tracers in Nitrogen Uptake Studies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 765-767.

EIRA, P.A. da; G.G. PESSANHA; D.P.P. de S. BRITTO e A.R. CARBAJAL, 1974. Adubação Mineral de Fósforo e Potássio na Cultura de Feijão e Verifi-

cação do Efeito Residual. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, 9: 121-124.

EL NADI, A.H., 1975. Water Relation of Beans. III. Pod and Seed Yield of Haricot Beans under Different Irrigations in the Sudan. *Expl. Agric.* 2: 155-158.

FERNANDES, C.S., 1978. Auto-Irrigação para Ensaio em Vasos. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Boletim Informativo, 3(2): 20-21.

FONTES, L.A.N., 1972. Nota sobre Efeitos da Aplicação de Adubo Nitrogenado e Fosfato, Calcário e Inoculante na Cultura de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *R. Ceres* 19: 211-216.

FRANCO, A.A. e J. DOBEREINER, 1967. Especificidade de *Rhizobium* em simbiose com o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e a Influência de Diferentes Nutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, 2: 467-479.

FRANCO, A.A.; O.O.M. FONSECA e I.E. MARRIEL, 1979. Efeito do Nitrogênio na Atividade da Nitrogenase e Nitrato Redutase, durante o Ciclo da Soja no Campo. *R. bras. Ci. Solo* 2: 110-114.

FRED, E.B.; I.L. BALDWIN e E. McCOY, 1932. Root Nodule Bacteria and Leguminous Plants. Madison, Wisc. University Press. 343 p. (Wisc. University Studies, nº 5).

FREITAS, J.R. e S.M.T. SAITO, 1978. Uso de Método Semi-Automático para Manutenção de Umidade de Solos em Vasos. *Summa Phytopathologica* 4: 138-139.

FROTA, J.N.E. e T.C. TUCKER, 1978 a. Salt and Water Stress Influences in Nitrogen Metabolism in Red Kidney Beans. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 743-746.

FROTA, J.N.E. e T.C. TUCKER, 1978 b. Absorption Rates of Ammonium and Nitrate by Red Kidney Beans under Salt and Water Stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 753-756.

GUSS, A. e J. DOBEREINER, 1972. Efeito da Adubação e da Temperatura na Fixação do Nitrogênio em Feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Agronomia, 7: 87-92.

HABISH, H.A. e A.A. MAHDI, 1976. Effect of Soil Moisture on Nodulation of Cowpea and Hyacinth bean. *J. Agric. Sci.* 86: 553-560.

HORNER, G.M. e M. MOJTEHEDI, 1970. Yield of Grain Legumes as Affected by Irrigation and Fertilizer Regimes. *Agron. J.* 62: 449-450.

IAEA, 1976. Tracer Manual on Crops and Soils. Vienna, p. 119-127.

JENSEN, C.R., 1977. Effects of Salinity in the Root Medium. IV. Photosynthesis and Leaf Diffusive Resistance in Relation to CO₂-Concentration. *Acta Agriculturae Scandinavica* 27: 159-164.

KOLLING, J.; J.G. STAMMEL e E. KORNELIUS, 1976. Efeitos do Calcáreo e da Adubação Fosfatada sobre Alguns Componentes Químicos do Tecido de Leguminosas Forrageiras de Clima Tropical. *Agron. Sulriograndense* 12(2): 207-218.

KORNELIUS, E. e J.R.J. FREIRE, 1974. Aeração e Umidade do Solo como Fatores Limitantes na Nodulação em *Phaseolus vulgaris* L. *Agron. Sulriograndense* 10(2): 247-260.

LAHIRI, A.N. e S. SINGH, 1968. Studies on Plant Water Relationship. IV. Impact of Water Deprivation on the Nitrogen Metabolism of *Pennisetum typhoides*. *Proc. Nat. Inst. Sci. India* 6B: 313-322.

MASEFIELD, G.B., 1961. The Effect of Irrigation on Nodulation of Some Leguminous Crops. *Emp. J. Exper. Agric.* 29: 51-59.

McLAUGHLIN, N.B., 1977. A Semiautomatic Pot Watering Device. *Can. J. Soil Sci.* 57: 77-79.

MEIDNER, H., 1967. Further Observation on the Minimum Intercellular Space Carbon Dioxide Concentration (γ) of Maize Leaves and Postulated Roles of "photorespiration" and Glycolate Metabolism. *J. Exp. Bot.* 18: 177-185.

NAIRIZI, S. e J.R. RYDZZWSKY, 1977. Effects of Dated Moisture Stress on Crop Yields. *Expl. Agric.* 13: 51-59.

- NASCIMENTO Fº, V.F. e A.O. LOBÃO, 1977. Detecção de ^{32}P em Amostras de Origem Animal e Vegetal por Efeito Cerenkov, Cintilação Líquida e Detector G.M. Piracicaba, CENA, 25 p. (Boletim Científico nº 048).
- NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Aplicação de Uréia - ^{15}N em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Carioca. *R. bras. Ci. Solo* 2: 51-55.
- OKAFOR, N. e I.C. MACRAE, 1973. The Influence of Moisture Level Light, Aeration and Glucose upon Acetylene Reduction by Black Earth Soil. *Soil Biol. Biochem.* 5: 181-186.
- OLSEN, S.R.; F.S. WATANABE e R.E. DANIELSON, 1961. Phosphorus Absorption by Corn Roots as Affected by Moisture and Phosphorus Concentration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25: 289-294.
- PALFI, G., 1965. The Effect of Sodium Salt on the Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Sodium and Amino Acid Content of Rice Shoots. *Plant and Soil* 22: 127-135.
- PAZ, L.G., 1978. Influência do pH e da Nutrição Mineral na Nodulação e Fixação do Nitrogênio Molecular pelo Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), Cultivado em Solução Nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP. 186p. (Tese de Doutorado).
- PERROUX, K.M., 1979. Controlled Water Potential in Subirrigated Pots. *Plant and Soil* 52: 385-392.

- PONS, A.L. e C.F. GOEPFERT, 1975. Efeito da Adubação Nitrogenada em Feijoeiro. I. Solo Camaquã. *Agron. Sulriograndense* 11(2): 259-266.
- PROKSCH, G., 1969. Routine Analysis of ^{15}N in Plant Material by Mass-Spectrometry. *Plant and Soil* 31: 380-384.
- REICHARDT, K., 1978. A Água na Produção Agrícola. São Paulo, McGraw-Hill. 115p.
- REICHMAN, G.A. e D.L. GRUNES, 1966. Effect of Water Regime and Fertilization on Barley Growth, Water Use and N e P Uptake. *Agron. J.* 58: 513-517.
- RICHARDS, L.A., 1965. Physical Condition of Water in Soil. In: BLACK, C.A. ed., Methods of Soil Analysis. Madison, Wisc., Amer. Soc. Agron. Part 1. p. 128-152.
- RICHARDS, L.A. e W.E. LOOMIS, 1942. Limitations of Auto-Irrigators for Controlling Soil Moisture under Growing Plants. *Plant Physiol.* 17: 223-235.
- ROBINS, J.S. e C.E. DOMINGO, 1956. Moisture Deficits in Relation to the Growth and Development of Dry Beans. *Agron. J.* 48: 67-70.
- RUZICKA, J.; E.H. HANSEN e E.A.G. ZAGATTO, 1977. Flow Injection Analysis. Part VII. Use of Ion-Selective Electrode for Rapid Analysis of Soil Extracts and Blood Serum. Determination of Potassium, Sodium and

Nitrate. *Anal. Chem. Acta* 88: 01-16.

SAXENA, M.C. e H. MARSCHNER, 1968. Studies on the Recovery of Fertilizer Nitrogen by Oats as Affected by Nitrogen Fertilization Level and Soil Moisture Supply. *Atompraxis* 14: 313-314.

SINGH, T.N.; L.G. PALEG e D. ASPINALL, 1973. Stress Metabolism. I. Nitrogen Metabolism and Growth in the Barley Plant During Water Stress. *Aust. J. Biol. Sci.* 26: 45-66.

SMITTLE, D., 1976. Response of Snap Bean to Irrigation, Nitrogen Fertilization and Plant Population. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 101: 37-40.

SPRENT, J., 1972. The Effects of Water Stress on Nitrogen-Fixing Root Nodules. IV. Effects on Whole Plants of *Vicia faba* and *Glycine max.* *New Phytol.* 71: 603-611.

STARR, J.L.; F.E. BROADBENT e P.R. STOUT, 1974. A Comparison of ^{15}N -Depleted and ^{15}N -Enriched Fertilizers as Tracers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 266-267.

TODD, G.W. e B.Y. YOO, 1964. Enzymatic Changes in Detached Wheat Leaves as Affected by Water Stress. *Phyton.* 20: 61-68.

VIEIRA, C. e R.F. GOMES, 1961. Ensaios de Adubação Química do Feijoeiro. *R. Ceres* 11: 253-264.