

EFEITOS DA VARIEDADE DE SOJA (*Glycine max*) E DO INOCULANTE NA FISIOLOGIA DA NODULAÇÃO EM CONDIÇÕES DE CAMPO¹

GERSON PEREIRA RIOS² e JOHANNA DÖBEREINER³

SINOPSE.— Um ensaio foi conduzido na Estação Experimental de Uberaba, do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste, em condições de campo, visando observar o comportamento de quatro variedades de soja com relação a diferentes inoculantes. Foram feitas 5 leituras em datas diferentes anotando-se o número de nódulos, e 3 leituras do peso total e tamanho médio dos mesmos.

Houve diferenças significativas entre os inoculantes quanto à quantidade de nódulos formados, sendo que a ação das variedades foi mais pronunciada no peso total e tamanho médio. Também ficou evidenciado o efeito destas na velocidade da formação dos nódulos.

Embora os inoculantes não tenham tido efeito significativo no tamanho médio dos nódulos, pôde-se observar que aqueles que induziram maior nodulação também produziram nódulos menores.

Uma certa concordância entre o peso total dos nódulos e peso de massa seca das plantas foi encontrada, indicando o nitrogênio como fator limitante no desenvolvimento das plantas.

INTRODUÇÃO

Entre os fatores que influenciam a iniciação e formação dos nódulos bem como o seu funcionamento, figuram a idade da planta e sua carga genética, assim como, evidentemente, o inoculante.

Alguns autores têm feito estudos relacionando a idade da planta com a fixação de nitrogênio. Bergersen (1958) observou, também em soja, o aparecimento dos primeiros nódulos 9 dias após o plantio e o início da fixação de nitrogênio duas semanas mais tarde. Em cultivos de inverno, nos quais as plantas florescem dentro de duas a três semanas após a germinação, Bergersen observou um aumento constante no nitrogênio total das plantas a partir da segunda semana após o aparecimento dos primeiros nódulos, até cerca de 4 semanas mais tarde, quando a nodulação começou a decrescer. Aos 58 dias após o plantio, ou 7 semanas após a formação do primeiro nódulo, cessou a fixação de nitrogênio. Em cultivos de verão, a nodulação se deu em sucessivos "crops" de nódulos a intervalos de aproximadamente 14 dias. Aprison *et al.* (1954) observaram a fixação de nitrogênio pelos nódulos 80 dias após o plantio em uma região onde a variedade de soja em estudo amadurece com cerca de 135 dias e Bond (1936) observou que a mais alta fixação de nitrogênio diária por planta acontece durante o período de formação e desenvolvimento das vagens. Segundo Ebertová (1959), nódulos ativos se originam continuamente durante a vida da planta e a fixação continua até bem próximo à maturação das sementes, enquanto Hammond *et al.* (1951) observaram que há necessidade de substancial quantidade de nitrogênio durante o período de desenvolvimento das vagens e sementes.

Em trabalhos conduzidos na Estação Experimental de Uberaba, Minas Gerais, em solos de cerrado, têm-se observado as plantas da variedade Pelicano atingirem o máximo de nodulação em torno dos 128 e 113 dias, após a germinação, quando os plantios foram feitos em fins de outubro e princípios de novembro, respectivamente. Em ambos os casos, as plantas estavam em ponto de colheita cerca de 30 dias depois. No plantio de 22 de dezembro a nodulação aos 104 dias foi superior àquela encontrada aos 68 e no de 7 de janeiro, o número de nódulos aos 89 dias foi aproximadamente 15 vezes superior ao encontrado aos 53 (Rios 1970a).

Num experimento de competição de variedades também conduzido na Estação Experimental de Uberaba no ano agrícola 1969/70, enquanto algumas variedades, como L-1154 e L-256, apresentaram aos 102 dias uma nodulação inferior à encontrada aos 56, as variedades Mineira, Viçosa, Paraná tardia e F-61-2926 apresentaram nodulações idênticas nas duas épocas e, uma mistura de linhagem SL-1 apresentou maior número de nódulos aos 102 dias. As variedades amadureceram com cerca de 135 dias (Rios 1970b).

Nutman (1967), em estudos feitos com trevo subterrâneo, observou que o tempo no qual os primeiros nódulos apareceram diferenciou estatisticamente entre as variedades, e que variedades com poucas raízes laterais também tiveram poucos nódulos. O mesmo autor (1956) observou, no trevo, um fator responsável pela resistência completa à infecção por *Rhizobium*, e consequente nodulação, e outros fatores que alteram gradativamente a capacidade de uma simbiose eficiente, Williams e Lynch (1954) descreveram um fator de hereditariedade simples e recessivo que inibe a nodulação. Johnson e Means (1960) sugeriram a existência de determinado genótipo tanto na soja como no *Rhizobium*, que, em conjunto, poderiam proporcionar grande produção de nódulos.

Outros trabalhos têm sido feitos mostrando diferentes comportamentos das variedades de soja e outras leguminosas, quanto à sua capacidade de nodular e fixar nitrogênio. A maioria desses trabalhos foi conduzida em casos de vegetação, pois são diversos os fatores externos

¹ Recebido 27 mai. 1971, aceito 1 jun. 1971. Apresentado na V Reunião Latino-Americana de *Rhizobium* 1970, Rio de Janeiro, GB.

² Eng.º Agrônomo, Pesquisador da Estação Experimental de Uberaba do Instituto de Pesquisas Agropecuária do Centro-Oeste, Caixa Postal 57, Uberaba, Minas Gerais.

³ Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul, Km 47, Campo Grande, GB, ZC-26 bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas.

que afetam o processo da nodulação tornando mais difícil o aproveitamento dos dados colhidos em campo. Döbereiner *et al.* (1966a) observaram, em experimentos de campo, diferenças altamente significativas entre 25 variedades de soja com relação aos números e pesos de nódulos produzidos, bem como interação significativa para variedades \times localidades.

Burton e Wilson (1939) e Erdman e Means (1953), estudando o comportamento de diferentes variedades de alfafa, encontraram diferenças significativas entre as mesmas, quanto à capacidade de fixar nitrogênio. Resultados semelhantes conseguiram Johnson e Means (1960), em soja.

A finalidade de nosso trabalho seria testar em condições de campo e nas condições de clima do Centro-Oeste do Brasil, a reação das variedades de soja mais em evidência em nossa região com relação a alguns inoculantes que estão sendo distribuídos e outros ainda em estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi instalado um ensaio em parcelas subdivididas, com 4 repetições, onde 5 inoculantes (Leivas Leite, Inosojá, R.G.S.II, I.B.P.T. Bacter e IPEACS II) representavam as parcelas e 4 variedades de soja (SL-1, Pelicano, L-1154 e Viçoja) representavam as subparcelas. O ensaio foi conduzido no campo, num solo tipo latossolo vermelho escuro, meia cultura, de pH em torno de 5,5.

Foi feita uma adubação no dia do plantio usando-se por hectare, 750 kg de superfosfato simples e 100 kg de cloreto de potássio.

O plantio foi feito no dia 17 de janeiro e colhido no dia 9 de maio de 1961. Foram colocadas 30 sementes por metro linear permanecendo apenas 20 plantas após o desbaste feito 56 dias depois.

Para estudo da nodulação, em cada subparcela foram arrancadas 5 plantas com sistema radicular inteiro. Depois de lavar cuidadosamente as raízes, os nódulos foram retirados e levados à estufa a 58-60°C para secar e posteriormente serem contados e pesados.

Devido a ter sido feito o plantio em janeiro e, portanto, tardiamente, as variedades tiveram desenvolvimento e ciclos semelhantes, o que impossibilitou a determinação de uma possível influência dos hábitos das plantas na nodulação. Esse fato, por outro lado, foi favorável, pois possibilitou verificar-se possíveis diferenças na fisiologia da nodulação das variedades, independentemente desses fatores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações da nodulação nas diversas épocas podem ser apreciadas nas Fig. 1 a 6 e as suas análises de variância nos Quadros 1 e 2. Notam-se, em primeiro lugar, diferenças altamente significativas entre inoculantes no início do ciclo da planta. Estas diferenças ainda aumentaram até os 64 dias após o plantio, mas não foram significativas, já que houve também aumento da variação, devido às dificuldades de retirar plantas maiores do solo com sistema radicular inteiro. Se, entretanto, é feita análise conjunta das duas épocas (49 e 64 dias), e tomando somas das 4 repetições (Quadro 2), foram altamente significativos os efeitos dos inoculantes no número de nódulos e o da variedade no peso médio e total dos mesmos. O aumento do número de nódulos foi máximo no período de 34 a 49 dias. Após este período, com os inoculantes IBPT,

QUADRO 1. Análise de variância do número e peso dos nódulos nas diversas épocas (valores F)

Fontes de variação	GL	N.º de nódulos	Peso dos nódulos
18 dias			
Inoculantes	4	5,37**	
Resíduo (a)	12		
Variedades	3	11,58**	
Resíduo (b)	45		
34 dias			
Inoculantes	4	13,98**	5,59**
Resíduo (a)	12		
Variedades	3	12,90**	14,35**
Var. \times inoculante	12	4,25**	11,16**
Resíduo	33		
49 dias			
Inoculantes	4	2,81	1,76
Resíduo (a)	12		
Variedades	3	7,90**	10,53**
Resíduo (b)	45		
64 dias			
Inoculantes	4	1,48	
Resíduo	12		
Variedades	3		2,15
Resíduo (b)	45		
84 dias		Não houve significância	

QUADRO 2. Análise conjunta das idades dos 49 e 64 dias usando somas das 4 repetições (valores F)

Fontes de variação	GL	N.º de nódulos	Peso dos nódulos	P.M.N.
Idades	1	4,05	15,90*	—
Inoculantes	4	16,65**	5,72	1,35
Erro (a)	4			
Variedade	3	2,03	12,50**	12,50**
Idade \times var.	3	5,24**	1,20	1,52
Erro (b)	20			

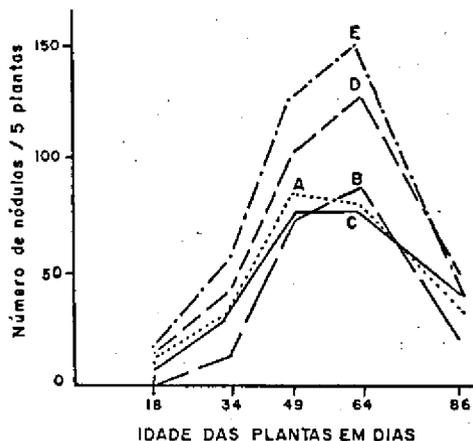


Fig. 1. Efeito dos inoculantes no número de nódulos: A) Leivas Leite, B) Inosojá, C) R.G.S.II, D) IBPT Bacter, E) IPEACS.

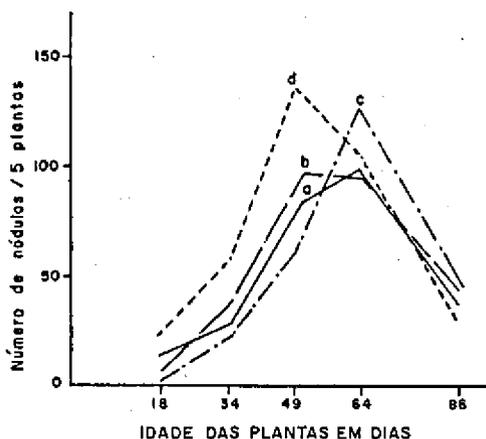


FIG. 2. Efeito das variedades de soja no número de nódulos: a) Viçosa, b) SL-1, c) Pelicano, d) L-1154.

IPEACS e Inoçoja ainda houve aumento, embora em taxa mais lenta, enquanto, com os dois outros inoculantes, não parece ter havido mais formação de nódulos após 49 dias. Aos 84 dias se observou uma queda brusca no número de nódulos, indicando que a fase da simbiose ativa já estava ultrapassada, estando os nódulos em franca decomposição.

Na Fig. 2 se pode observar a formação dos nódulos nas diferentes variedades. A diferença entre variedades no número de nódulos foi altamente significativa até a idade de 49 dias e ainda na análise conjunta de 49 a 64 dias, onde se manifestou pela interação variedade \times idade. A variedade mais propícia à formação dos nódulos foi L-1154, seguida pela SL-1 até aos 49 dias. Após esta época, entretanto, o número de nódulos destas duas variedades decresceu enquanto as variedades Pelicano e Viçosa continuaram formando nódulos até 64 dias após

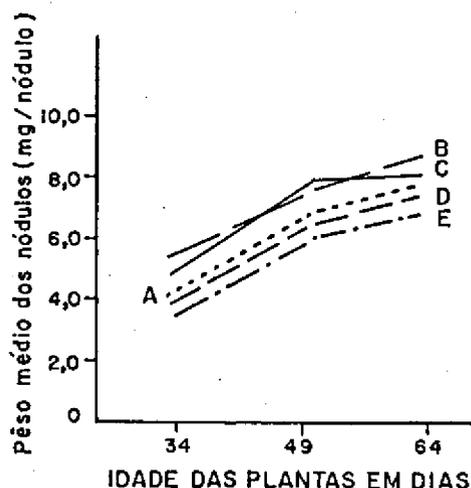


FIG. 3. Efeito dos inoculantes no peso médio dos nódulos: A) Leivas Leite, B) Inossoja, C) R.G.S.II, D) IPEACS.

o plantio, atingindo números equivalentes aos das demais. Fica, portanto, evidente que a variedade influencia largamente na velocidade da formação dos nódulos mesmo considerando que o ciclo de cada uma delas não variou muito devido ao plantio tardio. Comparando as Fig. 1 e 2 podemos concluir que a bactéria determina o número total de nódulos formados, parecendo que os inoculantes eficazes não somente induzem, desde o início, maior formação de nódulos, mas, ainda, permanecem ativos durante mais tempo, formando nódulos até quando os inoculantes menos eficazes já cessaram de induzir nodulação. A planta, por outro lado, estimula a formação de novos nódulos até o estado de pleno desenvolvimento das vagens parecendo ser seu efeito sobre o número de nódulos menos pronunciado que o do inoculante.

Nas Fig. 3 e 4 pode ser observado o crescimento dos nódulos uma vez formados, pelo peso médio dos mesmos. Nota-se que os inoculantes que produzem maior número de nódulos tendem a formar nódulos menores (Fig. 1 a 3).

Nutman (1968, 1967) observou em trevo uma compensação do menor número de nódulos através do maior desenvolvimento dos mesmos, manifestando-se em relação hiperbólica, número e comprimento dos nódulos da mesma variedade. O comprimento total dos nódulos tenderia então para uma constante que seria dependente do hospedeiro e também da bactéria. Tentativas de encontrar uma correlação negativa entre peso médio e número de nódulos no presente trabalho falharam, mesmo quando se usaram dados de cada idade separadamente. Apenas na idade de 64 dias o agrupamento parece oposto (Fig. 1 e 3) mostrando os dois inoculantes melhores (IBPT e IPEACS) nódulos menores que os três inoculantes que produziram menor número deles. A diferença entre inoculantes, todavia, não foi significativa quanto ao peso médio dos nódulos (Quadro 2).

Nota-se, entretanto, diferença altamente significativa entre variedades, nesta medida (Fig. 4, Quadro 2), ocorrendo nódulos muito maiores na variedade SL-1 do que nas variedades restantes. Na variedade L-1154, que apresentou maior nodulação desde o princípio (Fig. 2), o tamanho médio dos nódulos foi o menor aos 34 dias, recuperando, entretanto, no decorrer do ciclo. Estas duas variedades, mais Viçosa, mostraram peso médio de nódulos

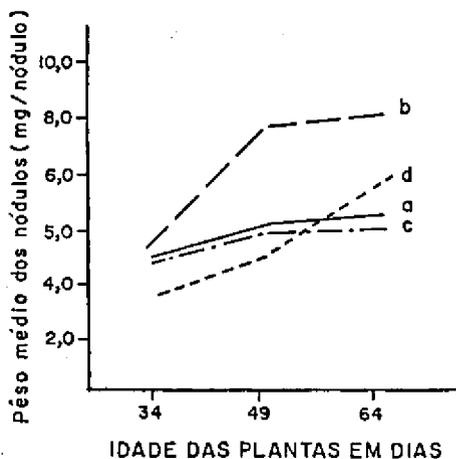


FIG. 4. Efeito das variedades no peso médio dos nódulos: a) Viçosa, b) SL-1, c) Pelicano, d) L-1154.

QUADRO 3. Interação variedades \times inoculantes 34 dias após o plantio (cg/5 plantas, somas dos tratamentos respectivos) ^a

Inoculante	Pêso total dos nódulos				N.º dos nódulos			
	Vijoja	SL-1	Pelicano	L-1154	Vijoja	SL-1	Pelicano	L-1154
Leivas Leite	55	73	53	120	127	177	148	461
Inojoja	63	85	45	56	100	168	85	182
RGS-II	76	119	71	85	150	187	150	267
IBPT	57	97	62	108	207	165	170	434
IPEACS	122	149	86	124	307	420	202	204
Teste de Tuckey para:	a) pêso dos nódulos				b) n.º de nódulos			
Inoculantes:	40				68			
Variedades:	24				132			

^aOs números grifados representam dados que foram significativamente superiores aos demais segundo teste de Tuckey.

dulos crescente até aos 64 dias apesar de que, o número já tinha começado a decrescer nas duas primeiras (Fig. 2). Já a variedade Pelicano que também mostrou um aumento contínuo do número de nódulos (Fig. 2) até aos 64 dias após o plantio, não mostrou mais aumento do tamanho médio após 49 dias.

O produto do número dos nódulos e de seu pêso é representado pelo pêso total que representa uma medida do tecido nodular total disponível para o processo da fixação de nitrogênio. Döbereiner *et al.* (1966b) observaram que na soja, como na maioria das outras leguminosas, este pêso de nódulos determinava a quantidade de nitrogênio fixada na simbiose com *Rhizobium*, não tendo observado variação na eficiência do tecido nodular, entre variedades, a não ser em casos específicos (Döbereiner & Arruda 1967).

Apesar de as diferenças entre inoculantes com relação ao pêso total de nódulos não terem sido grandes, eles foram constantes e altamente significativos nas duas primeiras épocas (Quadro 1). Os inoculantes que produziram maior pêso total foram o do IBPT e do IPEACS. Com todos os inoculantes, menos o RGS-II, o pêso dos nódulos continuou aumentando até 64 dias.

QUADRO 4. Comparação dos efeitos das variedades e dos inoculantes na nodulação, no desenvolvimento das plantas e na produção (os valores se referem a 5 plantas, com exceção da produção, e representam médias de 4 repetições) ^a

Inoculante	N.º de nódulos/5 plantas	Pêso de nódulos (dg/5 plantas)	Pêso seco 5 plantas (g)	Produção em grãos (kg/ha)
Leivas Leite	105	6,0	23b	821
Inojoja	90	5,9	22b	750
RGS-II	94	6,3	21b	786
IBPT	123	7,2	24ab	967
IPEACS	146	7,4	30a	714
Variedades				
Vijoja	97b	5,1b	23ab	928a
SL-1	115a	9,8a	29a	571b
Pelicano	82b	4,2b	20b	928
L-1154	151a	7,1ab	26ab	821ab

^aOs números marecados com (a) foram os primeiros colocados pelo teste de Tuckey e os com (b) os segundos colocados. Números com letras iguais não se diferenciam estatisticamente. Os valores das colunas sem letras não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

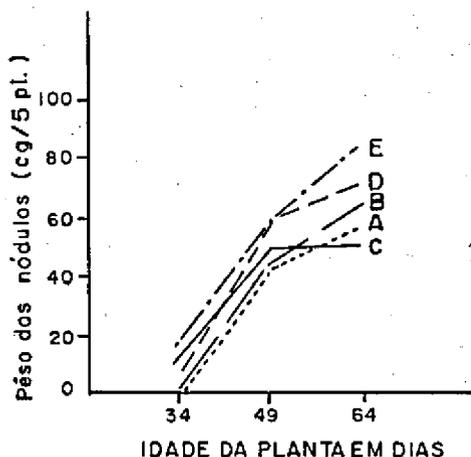


FIG. 5. Efeito dos inoculantes no pêso total dos nódulos: A) Leivas Leite, B) Inojoja, C) R.G.S.II, D) IPEACS.

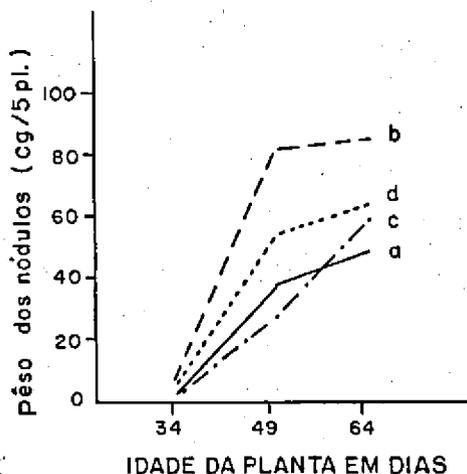


FIG. 6. Efeito das variedades no pêso total de nódulos: a) Vijoja, b) SL-1, c) Pelicano, d) L-1154.

Mais pronunciada ainda e também altamente significativa mostrou-se a diferença entre variedades referente ao peso total dos nódulos (Quadros 1 e 2, Fig. 6).

Com isto podemos concluir que o peso dos nódulos, ao contrário do número, dependeu mais da planta que da bactéria. O peso dos nódulos de todas as variedades aumentou até os 64 dias mas este aumento foi mais rápido na variedade SL-1 e mais lento nas duas outras. Infelizmente não foi possível pesar os nódulos aos 84 dias após o plantio, já que estavam em decomposição, mas pelo que se pode observar na Fig. 2, nesta época o peso total já deveria ter ultrapassado seu máximo.

A interação variedade \times estirpes no número e peso dos nódulos, que foi significativa aos 84 dias (Quadros 1 e 3), indica que enquanto o inoculante IPEACS produziu o maior peso em todas as variedades e o maior número em todas menos a L-1154, o efeito dos outros inoculantes variava com as variedades.

Se, finalmente, compararmos a nodulação com o desenvolvimento das plantas (peso seco aos 49 dias) e a produção que são apresentados no Quadro 4, verificamos uma certa concordância entre o peso dos nódulos e o desenvolvimento das plantas. Isto indica que o nitrogênio foi fator limitante no desenvolvimento das plantas. Por outro lado, a produção de grãos foi afetada por outros fatores independentes da disponibilidade de N necessário para o desenvolvimento das plantas. Isto vem sendo observado frequentemente apesar de já ter sido em outros experimentos encontrada correlação altamente significativa entre peso de nódulos e produção de grãos em soja (Arruda *et al.* 1968). Ao se pesquisar a simbiose da soja, entretanto, nada mais se pode esperar de uma estirpe de *Rhizobium* do que fornece o máximo possível de nitrogênio, pois não poderia ela agir sobre doenças, chochamento ou outros defeitos que reduzam a produção em grão, independentemente da disponibilidade de nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus mais sinceros agradecimentos ao Eng.º Agrônomo Dirce P. P. de Souza Britto, pela análise estatística dos resultados.

REFERÊNCIAS

- Aprinson, M.H., Magee, W.E. & Burris, H.H. 1954. J. biol. Chem. 208:29-30. (Citado por Howell 1963)
- Arruda, N.B., Döbereiner, J. & Cerner, C.M. 1968. Inoculação e adubação nitrogenada e revestimento calcário em três variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pesq. agropec. bras. 3:201-205.
- Berbersen, F.J. 1958. The bacterial component of soybean root nodules changes in respiratory activity, cell dry weight and nucleic acid content with increasing nodule age. J. gen. Microbiol. 19:312-323.
- Bond, G. 1936. Ann. Botany, London, 50:559-578. (Citado por Howell 1963)
- Burton, J.C. & Wilson, P.N. 1939. Host plant specificity among *Medicago* in association with root nodule bacteria. Soil Sci. 47:293-311.
- Döbereiner, J., Arruda, N.B. & Pentead, A.de F. 1966a. Especificidade hospedeira em variedades de soja, na simbiose com *Rhizobium*. Pesq. agropec. bras. 1:207-210.
- Döbereiner, J., Arruda, N.B. & Pentead, A.de F. 1966b. Avaliação da fixação do nitrogênio em leguminosas pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. Pesq. agropec. bras. 1:233-237.
- Döbereiner, J. & Arruda, N.B. 1967. Interrelações de variedades e nutrição na nodulação e simbiose da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pesq. agropec. bras. 2:475-482.
- Ebertová, H. 1959. Redoxpotentials in soybean nodules during the vegetative period. Nature 184:1046-1047.
- Erdman, L.W. & Means, U.M. 1953. Strain variation of *Rhizobium meliloti* on three varieties of *Medicago sativa*. Agron. J. 45:625-629.
- Hammond, L.C., Black, C.A. & Norman, A.G. 1951. Iowa Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 531, p. 21-22. (Citado por Howell 1963)
- Howell, R.W. 1963. Physiology of the soybean, p. 75-124. In Norman, A.G. (ed.) The soybean. Academic Press, New York.
- Johnson, H.W. & Means, U.M. 1960. Interactions between genotypes of soybeans and genotypes of nodulating bacteria. Agron. J. 52:621-654.
- Nutman, P.S. 1958. The physiology of nodule formation, p. 87-107. In Halsworth, E.G. (ed.) Nutrition of the legumes. Academic Press, New York.
- Nutman, P.S. 1956. Influence of the legume in root nodule symbiosis. Biol. Rev. 31:157-173.
- Nutman, P.S. 1967. Varietal differences in the nodulation of subterranean clover. Aust. J. agric. Res. 18:381-425.
- Rios, G.P. 1970a. Competição de variedades de soja. (No prelo)
- Rios, G.P. 1970b. Época de plantio de soja. (No prelo)
- Williams, L.F. & Lynch, D.L. 1954. Inheritance of nodulating character in the soybeans. Agron. J. 46:28-29.

ABSTRACT.- Rios, G.P. & Döbereiner, J. 1972. *The effects of soybean variety and inoculants on the physiology of nodulation under field conditions*. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron., 7:123-127. (Inst. Pesq. Agropec. Centro-Oeste, C.P. 57, Uberaba, Minas Gerais, Brazil)

In a field experiment conducted at the Uberaba Experiment Station with four soybean varieties and five inoculants, nodule numbers, their total weight and mean weight were determined at different stages of plant development.

There were significant differences between inoculants on nodule number and significant variety effects on total and mean nodule weight. The varieties which produced higher nodule numbers also possessed smaller sized nodules. Maximal nodule numbers were reached between 49 and 64 days after planting depending on the vegetative cycle of the variety, and on the inoculant. The best inoculants continued to form nodules until 64 days after planting. Mean nodule size varied little with the inoculant but one early variety produced significantly larger nodules than the others.

Total nodule weight increased until 64 days after planting and there were significant differences between inoculants and varieties.