

EFEITOS DA INUNDAÇÃO NA NODULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS¹

HELVÉCIO DE-POLLI², MILTON ALEXANDRE T. VARGAS³, AVÍLIO A. FRANCO⁴
e JOHANNA DÖBEREINER⁴

SINOPSE. - Foram feitos três experimentos em casa de vegetação com leguminosas forrageiras tropicais para estudar os efeitos de: a) períodos de 20 dias de inundação em plantas de diferentes idades; b) períodos crescentes de inundação em plantas já estabelecidas, e ainda, c) níveis crescentes de umidade durante todo o ciclo.

No primeiro experimento, que foi feito com dois solos de baixada, a soja forrageira (*Glycine max*) mostrou que tanto a assimilação do N mineral, como a do simbiótico, parou com a inundação de 4 cm acima do nível do solo, havendo queda de todos os nódulos quando a inundação foi iniciada 50 dias após o plantio, enquanto em plantas mais novas os nódulos se mantiveram. A fixação de N₂ possibilitou maior desenvolvimento das plantas do que a adubação com N mineral na base de 180 kg/ha.

No segundo experimento, que foi feito com as três leguminosas forrageiras *Stylosanthes guyanensis*, *Phaseolus atropurpureus* e *Centrosema pubescens* num solo de baixada, verificou-se que a primeira foi a espécie mais tolerante à inundação durante períodos mais prolongados, de até 45 dias, enquanto a *C. pubescens* pareceu ser a espécie mais sensível, notando-se a decomposição completa das raízes e nódulos no solo inundado por mais de 30 dias e o decréscimo progressivo da produção quando comparada com as testemunhas. O *P. atropurpureus* ocupou posição intermediária. O apodrecimento das raízes no solo inundado foi acompanhado do aparecimento de raízes e nódulos na água acima do solo e nenhuma das três espécies chegou a morrer após 45 dias de inundação.

No terceiro experimento, que foi feito com soja forrageira (*Glycine max*, cultivar Santa Maria) e *Centrosema pubescens* (Jitirana) em vermiculita, observou-se aumento do peso de nódulos e do desenvolvimento das plantas até 100% da capacidade de retenção de água da vermiculita, mas um decréscimo com 135%. A *C. pubescens* foi menos afetada pela deficiência de água e mais pelo excesso do que a soja Santa Maria. Enquanto o número de nódulos da soja aumentou até 135% de umidade, o da *C. pubescens* já diminuiu acima de 65%.

INTRODUÇÃO

A finalidade do estudo do efeito da inundação na nodulação e desenvolvimento de leguminosas deve-se à ocorrência de excesso de água, periodicamente, em solos de baixada, sendo estes solos de grande importância para a agricultura.

O excesso de água reduz a pressão parcial de O₂ do solo, podendo afetar a normalidade do tecido da planta, reduzir a nodulação, fixação de N₂ e o peso das plantas (Vincent 1965, Bond 1951).

Ferguson e Bond (1954) constataram haver maior número de nódulos com 5% de oxigênio do que com 1%, 12% ou 21%. O efeito da falta de O₂ é maior nas plan-

tas que utilizam o N₂ atmosférico e parece ser mais prejudicial à respiração nodular e fixação de N₂ do que ao desenvolvimento da planta em si.

A aeração do solo em condições de encharcamento aumentou o peso da planta seca e do número de nódulos na soja, resultando em aumento do N₂ fixado de 33% para 61% (Diatloff 1967). Resultados semelhantes foram encontrados por Hely *et al.* (1954).

Wu *et al.* (1968) observaram que, em solo após inundação durante um mês, a viabilidade do *Rhizobium* não foi muito afetada, porém, nos potes com reinoculação, depois deste período de inundação, as plantas tiveram melhor desenvolvimento.

Em trabalho anterior, De-Polli *et al.* (1971) demonstraram que o *Rhizobium* inoculado no solo foi mais sensível à inundação do que o *Rhizobium* nativo e que o número de ambos decresceu rapidamente, o que se manifestou no número de nódulos, em plantas de *C. pubescens* plantadas após drenagem. Estes efeitos da inundação ainda variam com o solo.

Masfield (1961) constatou que a irrigação de leguminosas no campo aumentou o número e peso de nódulos das plantas.

Por outro lado, Vincent (1958) e McKee (1961) observaram que a falta de água no solo também pode

¹ Aceito para publicação em 30 jun. 1972.
Trabalho subvencionado pelo Convênio PL-480.

² Aluno do Curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) (51/70 e 456/71, respectivamente).

³ Eng.º Agrônomo do Setor de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, Rio de Janeiro, GB, ZC-26, e Pesquisador Assistente, bolsista, do CNPq (6007/68).

⁴ Pesquisador em Agricultura do Setor de Solos do IPEACS e Pesquisador Conferencista, bolsista, do CNPq (7105/68).

afetar a nodulação e McKee e Langille (1967), em observações de campo, concluíram que a *Coronilla varia* exige uma boa drenagem.

Objetivou-se com este trabalho esclarecer um pouco mais os problemas relacionados com a inundação e seu efeito sobre o *Rhizobium* e sobre as leguminosas, procurando-se dar continuidade ao trabalho anterior (De-Polli *et al.* 1971).

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento 1

Conduziu-se o experimento em casa de vegetação em potes de polietileno com soja forrageira (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar Santa Maria.

O delineamento experimental foi o fatorial 3 x 3 x 2 x 2, em blocos ao acaso, com três repetições e os seguintes tratamentos:

três idades das plantas para início da aplicação dos níveis de umidade: 20, 35 e 50 dias após o semeio;

três fontes de N: testemunha, inoculado com *Rhizobium japonicum* e adubado com N mineral (3 x 30 mg de N/kg de solo);

dois níveis de umidade aplicados durante 20 dias e seguidos pela colheita das plantas: testemunha (aproximadamente a capacidade de campo) e inundado (4 cm de água sobre o solo);

dois tipos de solos: foram usados solos de baixada, sendo um da Série Seropédica (argiloso) e o outro, da Série Piranema (turfo); estes solos foram descritos por Mendes *et al.* (1954).

Com base na curva de neutralização, fez-se calagem colocando-se 0,7 t/ha de calcário no solo Seropédica e 5,7 t/ha no Piranema, o que elevou o pH para 6,0 nos dois solos. Em cada vaso havia 1,3 kg de solo.

Os resultados da análise química dos solos estão apresentados no Quadro 1. No solo Seropédica foi feita adubação, por vaso, na base de 55 ppm de P e 69,5 ppm de K (KH_2PO_4), 14,8 ppm de Mg ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), 3,8 ppm de Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), 2,9 ppm de Zn ($ZnSO_4 \cdot 2H_2O$), 0,17 ppm de B (H_3BO_3), 0,14 ppm de Mo ($Na_2MoO_4 \cdot 7H_2O$) e de 4,0 ppm de Fe ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$).

No solo Piranema, cuja análise não acusou deficiência de P nem de K, foi feita apenas a adubação com elementos menores na base descrita para o solo Seropédica.

No tratamento com N mineral, foram aplicados 39 mg no plantio em todos os vasos correspondentes ao tratamento, mais 39 mg aos 30 dias após o plantio, nos

vasos dos tratamentos 35 e 50 dias, e mais 39 mg aos 45 dias após o plantio, nos vasos do tratamento de 50 dias de idade.

Todos os vasos foram semeados no início do experimento com sementes de soja Santa Maria, cultivar de ciclo anual e relativamente tolerante ao encharcamento. As sementes foram esterilizadas com álcool e $HgCl_2$ 1:500 e depois lavadas. Foi feito desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

Os vasos correspondentes aos tratamentos inoculados receberam, no início do experimento, 2 ml de inoculante por vaso. Usou-se a estirpe CB 1809 de *Rhizobium japonicum*, que foi multiplicada em meio de cultura de Fred e Waksman (1928) semilíquido durante sete dias. Foi feita a estimativa do número de bactérias pelo método de Koch e contagem das colônias em placas de Petri. Encontrou-se um valor de 10^8 células por 2 ml de inoculante.

Obedecendo ao esquema experimental, aos 20, 35 e 50 dias aplicavam-se nos vasos os níveis de umidade estabelecidos, permanecendo assim por 20 dias, quando então eram colhidas as plantas. O experimento foi instalado no dia 14 de março de 1971 e a última colheita foi em 22 de maio de 1971.

Em cada colheita, as plantas foram retiradas dos vasos e lavadas sobre uma peneira. Os nódulos foram destacados, secados a 65°C, contados e pesados. As plantas sem os nódulos foram secadas a 65°C, sendo determinado seu teor de N pelo método de Kjeldahl.

Experimento 2

Conduziu-se o experimento na casa de vegetação, em potes de polietileno.

O delineamento utilizado foi um fatorial 3 x 2 x 5 sorteado em blocos ao acaso com três repetições e os seguintes tratamentos:

três leguminosas forrageiras tropicais: *Stylosanthes guyanensis* cultivar IRI 1022, *Phaseolus atropurpureus* cultivar Siratro e *Cenrosema pubescens* cultivar Deodoro (Jitirana);

dois níveis de umidade: testemunha (aproximadamente a capacidade de campo) e inundado (2 cm sobre o solo);

cinco períodos de umidade: 9, 18, 27, 36 e 45 dias.

Foi utilizado um solo de baixada da Série Piranema (Mendes *et al.* 1954), solo turfo, na base de 2 kg por vaso.

QUADRO 1. Resultados da análise química dos solos*

Experimentos	Solos	Fósforo		Potássio		Ca + Mg (mE/100 cm ³)	Alumínio (mE/100 cm ³)	pH
		Teor (ppm)	Nível	Teor (ppm)	Nível			
1	Seropédica	1	baixo	58	médio	1,8	0,8	5,3
	Piranema	39	alto	84	"	2,6	3,1	4,5
2	Piranema	1	baixo	80	"	1,8	0,9	5,5

* Análises feitas de acordo com o Plano Nacional de Análises Rápidas do Solo (PNARS).

Com base na análise química do solo, que revelou 1 mEq/100 g de Al^{+++} , foi feita a correção de acidez do mesmo, sendo usadas 2 t/ha de $CaCO_3$. A correção de fertilidade foi feita aplicando-se, por vaso, 40 ppm de P e 50 ppm de K (KH_2PO_4), 14,8 ppm de Mg ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) e os elementos menores utilizados no experimento anterior.

As sementes foram escarificadas com ácido sulfúrico concentrado e a inoculação foi feita com as seguintes estirpes de *Rhizobium* sp. do Setor de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS): H-8 para *S. guyanensis*, Do-37a para *P. atropurpureus* e C-102 para *C. pubescens*. As estirpes foram multiplicadas em meio de cultura de Fred e Waksman (1928) semilíquido durante sete dias, aplicando-se 3 ml por vaso.

Fez-se o desbaste deixando-se cinco plantas por vaso. O experimento foi instalado no dia 14 de dezembro de 1970 e a última colheita foi realizada no dia 15 de abril de 1971.

As plantas foram mantidas em condições ótimas de umidade e após 77 dias foram submetidas à aplicação dos níveis de umidade. A primeira colheita foi feita aos nove dias após esta aplicação e as outras quatro, espaçadas de nove dias.

Após as colheitas, feitas como a descrita no Experimento 1, as plantas foram secadas a 65°C, pesadas e moídas, analisando-se seu teor de N pelo método de Kjeldahl.

Experimento 3

Conduziu-se o experimento na casa de vegetação, em potes de polietileno com vermiculita.

O delineamento experimental foi o fatorial 4 x 2, em blocos ao acaso com três repetições e os seguintes tratamentos:

quatro níveis de umidade: 30%, 65%, 100% e 135% da capacidade de retenção de água da vermiculita;

duas espécies: *Glycine max* (L.) Merrill, cultivar Santa Maria, e *C. pubescens* Benth.

O experimento, na realidade, foi conduzido com dois tratamentos de N: inoculado e N mineral. Devido à ocorrência de nódulos no tratamento de N mineral, provavelmente devido à contaminação da vermiculita usada como substrato ou do próprio vaso, não computamos os dados obtidos no tratamento de N mineral, registrando-se apenas os dados do tratamento inoculado.

Foi usada vermiculita para estudar o efeito da umidade isoladamente do fator solo. Cada vaso continha 500 g de vermiculita seca.

Os níveis de umidade foram estabelecidos admitindo-se como extremos 30% e 135% da capacidade de retenção de água da vermiculita. Entre esses dois valores extremos, colocaram-se dois valores intermediários. Foi determinada a capacidade de retenção de água da vermiculita no próprio vaso de plantio, considerando como seca a vermiculita no ambiente. Encontramos o valor de 87% de retenção de água.

Para manter os vasos com os níveis de umidade predeterminados, foram feitas pesagens periódicas, completando-se com água para o peso inicial. Mantiveram-se alguns vasos com plantas, além dos vasos do experimento. Periodicamente, retiravam-se algumas plantas, que eram pesadas. O peso das plantas no decorrer do

seu crescimento foi acrescido ao peso dos vasos para manter o nível de umidade desejado.

O experimento foi instalado no dia 18 de agosto de 1971 e colhido no dia 13 de outubro de 1971.

Fez-se uma adubação básica, por vaso, de 46 ppm de P e 58 ppm de K (KH_2PO_4), 14,8 ppm de Mg ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) e de elementos menores da mesma solução utilizada nos Experimentos 1 e 2. O N mineral foi aplicado no plantio e aos 25 e 45 dias após o mesmo, na base de 40 mg por vaso em cada aplicação.

As sementes de soja foram esterilizadas com álcool e $HgCl_2$ e as sementes de *Centrosema* foram escarificadas com H_2SO_4 .

Usou-se a estirpe CB-1809 de *Rhizobium japonicum* para inocular a soja e estirpe C-102 de *Rhizobium* sp. para inocular a *Centrosema*. As estirpes foram multiplicadas em meio de cultura de Fred e Waksman (1928) semilíquido durante sete dias, aplicando-se 3 ml em cada vaso dos tratamentos correspondentes. Foi feita a estimativa do número de *Rhizobium* pelo método de Koch e contagem das colônias em placas de Petri. Encontraram-se, por 3 ml de inoculante, 189×10^8 células para o *R. japonicum* e 42×10^7 células para o *Rhizobium* sp.

No desbaste deixaram-se três plantas por vaso.

As plantas foram colhidas com 55 dias após a semeadura, fazendo-se as mesmas observações do Experimento 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

No primeiro experimento estudaram-se os efeitos de períodos de inundação de 20 dias sobre plantas com diferentes idades. Nota-se um efeito altamente significativo da inundação sobre a nodulação em ambos os solos e sobre o desenvolvimento das plantas, que foi mais afetado no solo turfoso (Quadros 2 e 3, Fig. 1 e 2).

O efeito da inundação tornou-se mais severo nas plantas mais maduras e nas plantas inoculadas pareceu consequência do efeito sobre a nodulação. Estes efeitos apareceram ainda mais drasticamente nos vasos com inoculação, onde o crescimento e a assimilação de N_2 continuou normalmente até os 70 dias nos vasos sem inundação. O número dos nódulos (Quadro 2) foi pouco afetado, a não ser nas plantas com 50 dias de idade que mostraram uma queda brusca dos nódulos devido a um apodrecimento prematuro nos vasos inundados (interação idade x inundação), o que pareceu indicar que a iniciação da nodulação foi menos sensível à falta de O_2 que o seu desenvolvimento e a fixação de N_2 (Bond 1951). O peso total dos nódulos, entretanto, foi logo no início do ciclo prejudicado pela inundação (Fig. 2). O efeito sobre a fixação de nitrogênio (Quadro 2) ainda foi confirmado pelo teor de N (N%), que sempre diminuiu nas plantas dependentes da simbiose enquanto que tendeu a aumentar nas testemunhas e nos vasos com N mineral (interação N x inundação).

A grande vantagem que neste experimento levaram as plantas alimentadas pela simbiose independentemente da inundação se deve a uma insuficiência na dose de nitrogênio mineral que, apesar de parecer elevada quando transformada em kg/ha (180), ainda não foi suficiente para competir com o N assimilado via simbiose; resultado semelhante foi obtido por De-Polli *et al.* (1971).

QUADRO 2. Efeitos de períodos de inundação de 20 dias sobre a soja forrageira *Glycine max* cultivar Santa Maria em diferentes idades, no Experimento 1 (dados por pote com duas plantas, médias de três repetições)

Solos	Tratamentos			Nódulos		Planta		
	Idades das plantas (dias)	Níveis de umidade	Fontes de N	Número	Peso seco (mg)	Peso seco (g)	N%	N total (mg)
Seropédica	20	Capacidade de campo	Testemunha	0,7	4,3	5,0	0,87	43,40
			Inoculado	50,7	230,7	4,8	2,00	94,93
			N mineral	0	0	6,4	1,03	61,13
		Inundado (4 cm de água sobre o solo)	Test.	8,0	19,0	3,1	1,30	38,63
			Inoc.	28,0	75,0	2,2	1,70	38,20
			N min.	11,7	41,7	3,2	1,10	35,00
	35	Cap. campo	Test.	0	0	5,5	0,73	38,63
			Inoc.	36,0	396,7	7,6	2,30	171,13
			N min.	3,7	84,7	0,6	0,97	98,23
		Inundado	Test.	7,3	14,7	5,6	0,83	45,47
			Inoc.	36,3	133,7	7,9	1,17	85,43
			N min.	0	0	9,2	0,87	78,00
	50	Cap. campo	Test.	1,3	16,0	9,4	0,77	71,93
			Inoc.	49,3	283,7	10,5	2,03	216,00
			N min.	0	0	12,8	0,77	95,87
		Inundado	Test.	0	0	7,0	0,97	65,30
			Inoc.	0	0	0,5	1,47	140,90
			N min.	0	0	8,9	1,07	95,33
Piranema	20	Cap. campo	Test.	0	0	7,3	1,70	124,03
			Inoc.	18,3	142,3	5,4	2,30	120,80
			N min.	0	0	5,6	2,40	129,87
		Inundado	Test.	0	0	3,7	1,47	53,70
			Inoc.	34,0	45,3	4,2	1,73	73,57
			N min.	0	0	4,1	1,67	68,53
	35	Cap. campo	Test.	0	0	11,9	0,93	109,80
			Inoc.	36,0	535,0	13,2	2,07	281,07
			N min.	0	0	13,6	1,20	163,37
		Inundado	Test.	3,3	22,0	10,6	0,90	91,30
			Inoc.	42,0	203,3	12,6	1,07	135,00
			N min.	0	0	8,6	1,30	108,93
	50	Cap. campo	Test.	0	0	11,2	1,00	109,77
			Inoc.	34,3	491,7	16,5	2,27	360,83
			N min.	0	0	11,5	1,93	162,00
		Inundado	Test.	0	0	9,3	1,23	113,00
			Inoc.	5,7	44,0	8,2	1,47	117,87
			N min.	0	0	8,6	1,33	107,50

* Idade das plantas quando foi iniciada a aplicação dos níveis de umidade. A colheita foi 20 dias depois.

QUADRO 3. Análise de variância dos dados apresentados no Quadro 2 (Valores F*)

Fontes de variação	G.L.	Nódulos		Plantas		
		Número	Peso	Peso	N%	N total
Solos	1	5,25**	—	34,06**	38,24**	79,11**
Idades da planta	2	12,00**	10,80**	97,11**	73,53**	44,49**
Fontes de N	2	235,13**	209,84**	3,67*	76,47**	63,86**
Inundação	1	3,25	41,00**	40,75**	22,06**	87,54**
Solos x idades	2	3,90	3,90*	8,41**	6,62	—
Solos x fontes de N	2	—	3,45*	5,97**	11,03**	—
Solos x inundação	1	—	—	2,89	5,89*	17,11**
Idades x fontes de N	4	4,63**	6,51**	1,97	11,03**	11,18**
Idades x inundação	2	16,88**	8,78**	2,94	1,47	—
Fontes de N x inundação	2	16,38**	48,50**	—	25,74**	24,61**
Solos x idades x N	4	—	2,03	—	—	—
Solos x idades x inund.	2	—	—	—	3,68*	—
Solos x N x inundação	2	5,75**	—	—	—	1,40
Idade x N x inundação	4	8,63**	4,81**	—	2,21	5,28**
Coefficiente de var. (%)	—	34	48	23	19	27

* * = significância a 5%, ** = significância a 1%.

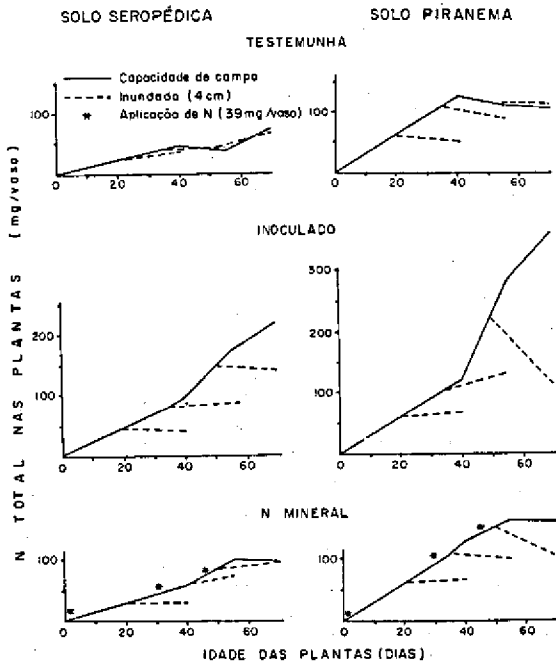


FIG. 1. Efeito de períodos de inundação de 20 dias sobre a produção de N total na soja forrageira (*Glycine max*), cultivar Santa Maria, em diferentes idades, em dois solos e três níveis de N, no Experimento 1 (dados por pote com duas plantas, em médias de três repetições). O ponto correspondente a 20 dias foi encontrado unido 0 a 40 dias.

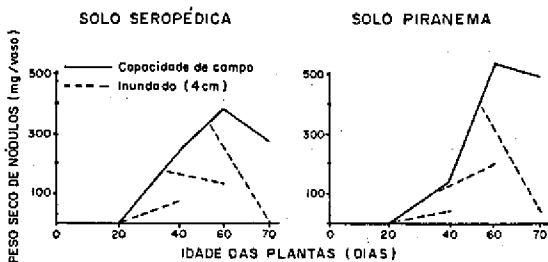


FIG. 2. Efeito de períodos de inundação de 20 dias sobre o peso seco de nódulos na soja forrageira (*Glycine max*), cultivar Santa Maria, em diferentes idades e em dois solos inoculados, no Experimento 1 (dados por pote com duas plantas, em médias de três repetições). O ponto correspondente a 20 dias foi considerado como zero com base em observações anteriores.

Experimento 2

No segundo experimento (Quadro 4), estudou-se o efeito de períodos crescentes de inundação sobre a fixação de N_2 e o desenvolvimento de três leguminosas forrageiras perenes. Fizeram-se observações nas plantas durante todo o período experimental.

Verificou-se aos 27 dias de inundação um decréscimo no desenvolvimento das plantas e o amarelecimento das folhas em *P. atropurpureus*; nos vasos submetidos a este tratamento, após 36 dias, o mesmo efeito se repetiu em *C. pubescens*. Aparentemente, o *S. guyanensis* não foi afetado pela inundação.

Foi observado ainda desenvolvimento de raízes acima da superfície do solo a partir de 18 dias de inundação, aparecendo em maior quantidade em *C. pubescens* e em menor quantidade em *S. guyanensis*. Esse aparecimento coincidiu com o início do processo de necrose das raízes subterrâneas. Grande número de nódulos na coleta efetuada neste período encontrava-se em estado de decomposição.

Na terceira colheita observou-se nodulação nas raízes situadas acima do solo, sendo estes nódulos mais abundantes em *C. pubescens* e menos em *S. guyanensis*. A partir da quarta colheita, todos os nódulos colhidos em *C. pubescens* e em *P. atropurpureus* provieram das raízes situadas acima do solo, estando o sistema radicular destas duas espécies em adiantado estado de decomposição, apesar de a parte aérea não se apresentar muito afetada. No *S. guyanensis*, grande parte do sistema radicular subterrâneo encontrava-se necrosado, mas até à última coleta apresentou nódulos aparentemente normais, embora com um decréscimo sensível em seu número.

Observou-se, pela análise de variância (Quadro 5), alta significância no decréscimo do N total e do peso das plantas nos tratamentos submetidos à inundação. O decréscimo na percentagem de N nesses tratamentos não foi significativo ao nível de 5%, embora o valor F obtido tenha sido próximo ao limite de significância. Isso parece indicar que a simbiose foi prejudicada, limitando talvez o desenvolvimento das plantas.

Encontrou-se também diferença significativa entre espécies, independentemente da inundação, apresentando-se a *C. pubescens* com maior percentagem de N que as outras duas espécies. *P. atropurpureus* mostrou maior peso de massa seca e a *S. guyanensis* foi significativamente pior que as outras duas espécies sob o aspecto do N total.

O valor F para a interação inundação x espécies, bem como para a interação inundação x espécies x coletas, na análise para peso das plantas, foi bastante próximo ao limite de significância (Quadro 5), indicando que o *S. guyanensis* comportou-se melhor que as outras duas espécies em relação à inundação. Foi calculada a relação percentual entre o peso obtido com a inundação e o peso obtido com a capacidade de campo; nestas percentagens, nos vasos inundados, foi que essa diferença se fez sentir mais nitidamente (Quadro 4). Em *P. atropurpureus* e *C. pubescens*, a inundação reduziu o N total a até 45% e 37%, respectivamente, dos valores das testemunhas, enquanto o *S. guyanensis* sofreu redução apenas até 65%. Enquanto na *C. pubescens* os efeitos da inundação se agravaram com o aumento do período de inundação, nas outras espécies parece ter havido certa regeneração (Quadro 4). Isto veio confirmar observações preliminares que indicaram ser o *S. guyanensis* a espécie que menos sentiu os efeitos da inundação.

Como o que ocorre em solos de baixada são períodos alternados de inundações e secas, e como foi observada a destruição quase completa do sistema radicular subterrâneo nos vasos submetidos ao tratamento de inundação, difícil se torna admitir a sobrevivência de leguminosas forrageiras tropicais nos citados solos, com base unicamente em seu comportamento satisfatório nos períodos de inundação, sem se conhecer bem suas capacidades de manter o sistema radicular vivo, ou a rapidez de regeneração dos seus respectivos sistemas radiculares após transcorrido o período de inundação.

QUADRO 4. Efeito de períodos crescentes da inundação na simbiose e desenvolvimento de três leguminosas forrageiras tropicais, no Experimento 2 (dados por pote com cinco plantas, médias de três repetições)

Espécies	Tratamentos		Peso seco das plantas (g)	Relação percentual ^b	N% das plantas	Relação percentual ^b	N total das plantas (mg)	Relação percentual ^b
	Tempo de inundação ^a (dias)	Níveis de umidade						
<i>S. guyanensis</i>	9	Capacidade de campo	20,3	—	1,12	—	250	—
		Inundado (2 cm de água sobre o solo)	16,2	79,8	1,16	103,5	220	88,0
	18	Cap. campo	29,6	—	1,01	—	330	—
		Inundado	18,7	63,6	1,08	106,9	240	72,7
	27	Cap. campo	29,4	—	1,10	—	370	—
		Inundado	32,3	109,8	0,87	79,0	240	64,8
	36	Cap. campo	25,4	—	1,04	—	270	—
		Inundado	29,2	114,9	0,98	94,2	290	107,4
	45	Cap. campo	34,5	—	1,09	—	410	—
		Inundado	31,1	90,1	0,94	86,2	300	73,1
<i>P. atropurpureus</i>	9	Cap. campo	27,4	—	1,17	—	390	—
		Inundado	19,3	70,4	1,19	101,7	270	89,2
	18	Cap. campo	33,8	—	1,13	—	440	—
		Inundado	28,5	84,3	1,08	95,5	340	77,2
	27	Cap. campo	44,9	—	1,00	—	400	—
		Inundado	35,4	78,8	0,99	99,0	340	85,0
	36	Cap. campo	48,1	—	1,08	—	560	—
		Inundado	24,5	50,9	1,00	92,5	250	44,8
	45	Cap. campo	40,1	—	1,08	—	470	—
		Inundado	27,1	67,5	1,00	92,5	270	57,4
<i>C. pubescens</i>	9	Cap. campo	15,7	—	1,27	—	240	—
		Inundado	21,7	138,2	1,18	92,9	300	125,0
	18	Cap. campo	22,3	—	1,22	—	340	—
		Inundado	21,9	98,2	1,18	96,7	300	84,2
	27	Cap. campo	44,9	—	1,22	—	690	—
		Inundado	34,4	76,0	1,66	95,0	500	72,4
	36	Cap. campo	27,9	—	1,21	—	430	—
		Inundado	19,9	71,3	1,13	93,3	250	58,1
	45	Cap. campo	36,1	—	1,16	—	510	—
		Inundado	18,2	50,4	1,03	88,7	190	37,2

^a A partir do 77.º dia após o semeio.

^b Relação percentual = $\frac{\text{Valor obtido com inundação} \times 100}{\text{Valor obtido com capacidade de campo}}$

QUADRO 5. Análise de variância dos dados apresentados no Quadro 4 (Valores F²)

Fontes de variação	G.L.	Plantas		
		Peso	N%	N total
Níveis de umidade	1	18,24**	3,07	17,70**
Espécies	2	6,80**	10,00**	3,89*
Colheitas	4	12,12**	3,23	2,67*
Níveis x espécies	2	3,15	0,15	0,56
Níveis x colheitas	4	0,68	1,92	1,95
Espécies x colheitas	8	1,22	1,00	1,72
Níveis x espécies x colh.	8	1,71	0,07	0,61
Coefficiente de variação (%)	—	26	10	39

* = significância a 5%, ** significância a 1%.

Experimento 3

Este experimento teve por finalidade comparar os efeitos de níveis de umidade na fixação de N₂ e na planta cultivada em vermiculita.

Neste experimento, em que se compararam níveis de umidade crescentes mas constantes durante todo o experimento, nota-se que houve um maior desenvolvimento das plantas quando se aumentou a umidade até 100% da capacidade de retenção de água da vermiculita,

enquanto o nível de 135% pareceu ter sido excessivo (Fig. 3). Doku (1970), trabalhando com níveis de umidade desde o mínimo possível para a planta até ao nível de capacidade de campo, encontrou melhor nodulação e peso das plantas ao nível da capacidade de campo, o que coincide inteiramente com os resultados acima. Também Diatloff (1967) encontrou ausência de nodulação em condições de seca ou umidade extrema.

Devido ao número reduzido de vasos (após eliminação do tratamento com N mineral), o efeito da umidade na nodulação não foi estatisticamente significativo, a não ser na interação espécie x umidade (Quadro 6). Nota-se um decréscimo do número de nódulos já a partir de 65% da capacidade de retenção de água da vermiculita na *C. pubescens*, enquanto o número de nódulos da soja aumentou até o máximo de umidade (Fig. 3). De-Polli *et al.* (1971) já observaram que a sobrevivência de *Rhizobium* de *C. pubescens* foi prejudicada em solo inundado, o que resultou em efeitos mais pronunciados no número do que no peso dos nódulos. No presente experimento, possivelmente, trata-se do mesmo fenômeno, uma vez que o peso dos nódulos aumentou até ao nível de 100%, mesmo na *C. pubescens*. O desenvolvimento dos nódulos (peso), apesar de não chegar a mostrar efeitos estatísticos significativos, pareceu ser mais afetado pela umidade, em ambas as espécies, sendo novamente a *C. pubescens* a mais prejudicada

QUADRO 6. Análise de variância dos dados da Fig. 3 (Valores F*)

Fontes de variação	G.L.	Nódulos		Planta		
		Número	Peso	Peso	N%	N total
Níveis de umidade	3	1,43	2,76	5,34*	1,85	3,09
Espécies	1	—	35,22**	489,85**	—	211,53**
Níveis umidade x espécies	3	3,59*	1,34	5,70**	—	2,31
Coefficiente de variação (%)	—	12	13	14	16	21

* = significância a 5%, ** = significância a 1%.

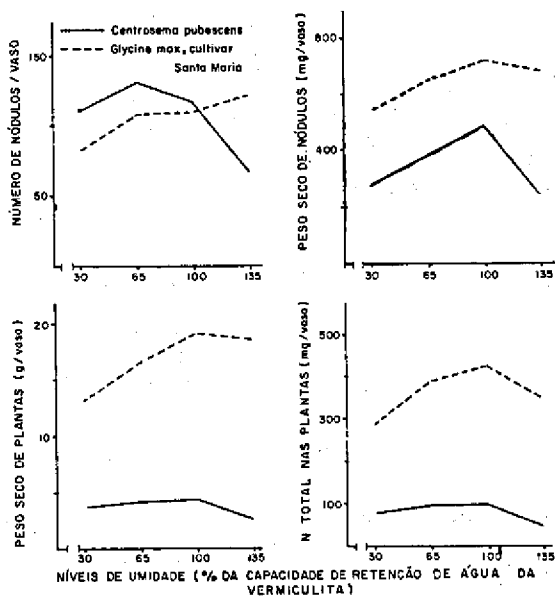


FIG. 3. Efeito de diferentes níveis de umidade sobre duas leguminosas forrageiras, plantadas em vermiculita, no Experimento 3 (dados por pote com três plantas, em médias de três repetições).

pelo excesso. A sensibilidade maior da simbiose que da planta contra a deficiência ou excesso de água já foi observada por Bond (1951), McKee (1961) e Vincent (1965). A maior tolerância da soja Santa Maria ao excesso de umidade é confirmado no peso das plantas (interação espécie x umidade), o que vem justificar o uso, com sucesso, desta leguminosa como adubo verde ou forrageira nas baixadas, como cultura de entressafra com arroz, o que é possível devido à independência deste cultivar, ao fotoperíodismo permitindo seu plantio nos meses de inverno.

Por outro lado, parece que o desenvolvimento da *C. pubescens* é menos exigente em relação à disponibilidade de água que a soja, não sendo quase estimulada com aumento de 35 para 100% de retenção de água (Fig. 3).

REFERÊNCIAS

- Bond, G. 1951. Symbiosis of leguminous plants and nodule bacteria. 4. The importance of the oxygen factor in nodule formation and function. *Ann. Bot.* 19:95-108.
- De-Polli, H., Franco, A.A. & Döbereiner, J. 1971. Sobrevivência de *Rhizobium* em solos de baixada sujeitos à inundaçãõ. *Anais XIII Congr. Bras. Ciên. Solo, Vitória, Espírito Santo.*
- Diatloff, A. 1967. Effect of soil moisture fluctuations on legume nodulation and nitrogen fixation in a Black Earth soil. *Qd J. Agric. Anim. Sci.* 24:315-321.
- Doku, E.V. 1970. Effect of day-length and water on nodulation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ghana. *Expl Agric.* 6:13-18.
- Ferguson, T.P. & Bond, G. 1954. Symbiosis of leguminous plants and nodule bacteria. 5. The growth of red clover at different oxygen tensions. *Ann. Bot.* 18:385-396.
- Fred, E.B. & Waksman, S. 1928. Laboratory manual of general microbiology. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Hely, F.W., Bonnier, C. & Manil, P. 1954. Investigation concerning nodulation and growth of lucerne seedlings in a loess soil artificially aggregated to various levels. *Pl. Soil* 5: 121-131. (Citado por Diatloff 1967)
- Masefield, G.B. 1961. The effect of irrigation on nodulation of some leguminous crops. *Emp. J. Exp. Agric.* 29:51-59.
- McKee, G.W. 1961. Some effects of liming, fertilization and soil moisture on seedling growth and nodulation of birds-foot trefoil. *Agron. J.* 53:237-240.
- McKee, G.W. & Langille, A.R. 1967. Effect of soil pH, drainage and fertility on growth, survival, and element content of Crownvetch, *Coronilla varia* L. *Agron. J.* 58:533-536.
- Mendes, W., Lemos, P. de O. e C., Lemos, R.C., Carvalho, L.G. de O. & Roseburg, R.J. 1954. Contribuição ao mapeamento, em série, dos solos do Município de Itaguaí. *Bolm n.º 12, Inst. Ecol. Exp. Agrícolas, Rio de Janeiro.*
- Vincent, J.M. 1958. Survival of the root nodule bacteria, p. 108-123. In Hallsworth, E.G. (ed.) *Nutrition of the legumes.* Academic Press, New York.
- Vincent, J.M. 1965. Environmental factor in the fixation of nitrogen by the legume, p. 384-435. In Bartholomew, W.V. & Clark, F.E. (ed.) *Soil nitrogen.* Agronomy n.º 10, Am. Soc. Agron. Inc. Public., Madison.
- Wu, M.H., Lee, S.T. & Chiang, M.H. 1968. Effects of submerged paddy soil on the life of soybean *Rhizobia*. *J. Agric. Assoc. China, New Series* 64:13-17.

ABSTRACT.- De-Polli, H.; Vargas, M.A.T.; Franco, A.A.; Döbereiner, J. [Effects of flooding on nodulation and growth of tropical forage legumes.]. Efeitos da inundaçãõ na nodulaçãõ e desenvolvimento de leguminosas forrageiras tropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Zootecnia* (1973) 8, 27-34 [Pt, en] IPEACS, Km 47, Rio de Janeiro, GB, ZC-28, Brazil.

Three greenhouse experiments were carried out to study the effects of: a) flooding for 20 day periods on plants of different ages; b) increasing periods of flooding; c) increasing moisture levels during the experimental period.

The first experiment was carried out in two hydromorphic soils with the soybean cultivar Santa Maria (*Glycine max*). Assimilation of mineral N as well as symbiotic N stopped after flooding at any age. While nodules on younger plants were maintained, but did not grow, those on 45 day old plants disappeared almost entirely.

The second experiment was carried out in one hydromorphic soil with *Stylosanthes guyanensis*, *Phaseolus atropurpureus* and *Centrosema pubescens*. *S. guyanensis* appeared to be the most tolerant species to longer flooding periods up to 45 days while *C. pubescens* was the most affected. Rotting of roots and nodules was more pronounced on *C. pubescens*, and new roots and nodules were regenerated in the water above the soil. None of the plants died during the 45 day flooding period.

The third experiment was carried out in vermiculite with the forage soybean Santa Maria (*Glycine max*). Nodule weight and plant growth increased up to 100% of the water holding capacity of the vermiculite, but decreased at 135% *C. pubescens* was less affected by water stress than was soybean but was more affected by excess water. While nodule numbers of soybeans increased up to 135% water holding capacity, those of *C. pubescens* decreased above 65%.