

## EFEITO DA TEMPERATURA DO SOLO NA SIMBIOSE DA SOJA ANUAL

PEDRO GALLETTI<sup>1</sup>, AVÍLIO A. FRANCO<sup>2</sup>, HÉLIO AZEVEDO<sup>4</sup> e JOHANNA DÖBEREINER<sup>5</sup>

### Sinopse

Foram feitos 3 experimentos em casa de vegetação para pesquisar efeitos de temperaturas excessivamente altas do solo na nodulação e fixação de nitrogênio atmosférico através da simbiose *Rhizobium japonicum* - *Glycine max* L. Merrill.

Temperaturas máximas diurnas acima de 33°C prejudicaram a iniciação dos nódulos e sua eficiência, observando-se efeitos menos pronunciados no desenvolvimento dos nódulos uma vez iniciados e na eficácia da simbiose proveniente da nodulação natural.

Houve diferenças entre variedades de soja e estirpes de *Rhizobium* na tolerância à temperatura alta do solo.

### INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill), nos últimos 10 anos, vem ganhando importância cada vez maior no Brasil, que recentemente chegou a ser o 3.º produtor desta leguminosa. Apesar de ser uma planta de clima subtropical, no Brasil a sua cultura já está avançando para regiões de clima mais quente (tropical), como Minas Gerais e Rio de Janeiro. Somada à importância econômica da soja como alimento está a sua capacidade de aproveitar o nitrogênio atmosférico, através da sua simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*.

Dentre os vários fatores ecológicos, que influenciam na simbiose das leguminosas, está a temperatura do solo. Döbereiner e Aronovich (1965) verificaram que, na *Centrosema pubescens* Benth., temperaturas do solo acima de 30°C prejudicaram a nodulação, a fixação de nitrogênio e a produção de forragem, sendo o mesmo observado por Ferrari *et al.* (1967) na soja perene. Nesta espécie, entretanto, plantas adubadas com nitrogênio mineral foram estimuladas pela temperatura acima de 30°C. Estirpes de *Rhizobium* indígenas e importadas, selecionadas para ervilha, comportaram-se diferentemente, em relação a altas

temperaturas do solo, sendo que as indígenas foram mais tolerantes em condições adversas (Mes 1959). Joffe *et al.* (1961) verificaram, para *Arachis hypogaea* e *Trifolium pratense*, que a fixação do nitrogênio atmosférico é processo termossensível, no qual o funcionamento da simbiose é dependente de estreito limite de temperaturas. Sendo a temperatura do solo um fator não controlável em condições de campo, instalamos os presentes experimentos como base para estudos da inoculação da soja em regiões mais quentes.

### MATERIAL E MÉTODOS

Em todos os experimentos foram usadas variedades de soja anual (*Glycine max* L. Merrill) e estirpes de *Rhizobium japonicum* do setor de Microbiologia da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS).

#### Experimento I

O experimento foi instalado em casa de vegetação em 6.1.65 e colhido em 25.2.65. O delineamento experimental foi um fatorial 2 x 10, sorteado em blocos ao acaso com 3 repetições. Usou-se a variedade de soja Sta. Maria, vasos com e sem refrigeração e os seguintes tratamentos de inoculação: a) SM-1b, b) A-1a, c) AP-20, d) R-10b, e) R-11a, f) R-17, g) R-54b, h) Inoc. comercial do Lab. Leivas Leite, i) Testemunha e j) Testemunha nitrogenada.

As diferenças de temperaturas foram obtidas com vasos de evaporação de acordo com Döbereiner e Pimenta (1964), usando-se vasos de barro pintados

<sup>1</sup> Recebido 30 out. 1969, aceito 10 dez. 1969.

<sup>2</sup> Aluno do 3.º ano da Escola de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq. Proc. 4.148/48).

<sup>3</sup> Eng.º Agrônomo do Setor de Solos do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS) e bolsista do CNPq. (Proc. 8007/68).

<sup>4</sup> Biologista do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

<sup>5</sup> Eng.º Agrônomo do Setor de Solos do IPEACS e bolsista do CNPq. (Proc. 7105/68).

internamente, embutidos em outros maiores e porosos. O espaço entre os dois vasos foi preenchido com areia, sendo esta mantida seca nos tratamentos "quente", e úmida durante todo o experimento nos tratamentos "frio". Fizeram-se leituras diárias das temperaturas, (Fig. 1), sendo estas tomadas do solo no interior dos vasos. Os vasos internos receberam 2 kg de solo da série Ecologia (Gray hidromorphic), misturado com 0,5% de palha de arroz com a finalidade de imobilizar o nitrato e diminuir efeitos de toxidez de manganês deste solo (Döbereiner e Alvalhydo, 1963). Todos os vasos receberam a seguinte adubação básica por kg de solo:

165,0 mg de  $KH_2PO_4$   
 150,0 mg de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$   
 15,8 mg de  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$   
 8,9 mg de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$   
 1,0 mg de  $H_3BO_3$   
 20,0 mg de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$   
 7,0 mg de  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$

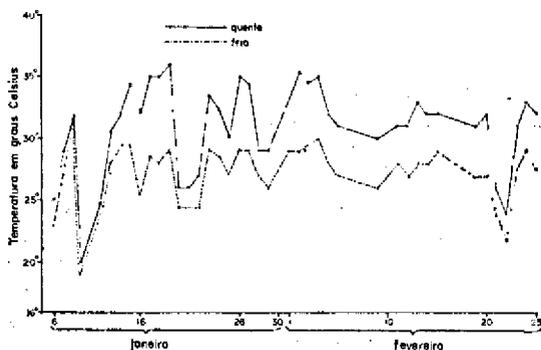


FIG. 1. Leituras diárias às 14:00 horas das temperaturas do solo no interior dos vasos do Exp. I, no período de 6.01 a 25.02.

Todos os nutrientes foram aplicados em solução no dia do plantio.

As testemunhas nitrogenadas receberam 100 mg de N na forma de  $NH_4NO_3$  por kg de solo, aplicado quando, nos tratamentos de inoculação, iniciava-se a fixação de N atmosférico.

As plantas foram colhidas na época de floração e os nódulos destacados, secados a  $65^\circ C$ , contados e pesados. Após a secagem das plantas, estas foram pesadas e após moídas, determinou-se o teor de N pelo método de Kjeldahl.

#### Experimento II

Este experimento foi instalado em casa de vegetação em 6.2.68 e colhido em 15.3.68. O delineamento experimental foi um fatorial  $2 \times 8$  sorteado em blocos ao acaso, e com 3 repetições. Usou-se a variedade de soja L-652, temperaturas "quente" e "frio" e os seguintes tratamentos de inoculação: a) Inoc. comercial de S. Paulo, b) Inoc. comercial do

Lab. Leivas Leite, c) Inoc. comercial do IBPT-Pr, d) R-54b, e) CB-1809, f) CB-1802, g) SM-1b, e h) Testemunha.

Usou-se o mesmo sistema de refrigeração do Exp. I, sendo que os vasos internos eram de polietileno e continham 2,5 kg do mesmo tipo de solo usado no Exp. I. A adubação básica foi a mesma do Exp. I, apenas reduzido de 7,0 para 2,0 mg/kg de solo o  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ .

Fizeram-se as mesmas observações e análises do Experimento I.

#### Experimento III

Este experimento foi instalado em casa de vegetação em 18.11.68, sendo a 1.<sup>a</sup> repetição colhida em 27.12.68, a 2.<sup>a</sup> em 6.1.69 e a 3.<sup>a</sup> no dia 13.1.69. O esquema experimental foi de blocos partidos com 3 repetições, tendo os inoculantes nas parcelas e as variedades de soja e temperaturas nas subparcelas. Usaram-se as variedades de soja Abura e Pelicano, as temperaturas "quente" e "frio" como no Exp. II e os seguintes tratamentos de inoculação: a) SM-1b, b) R-62, c) JF-526, d) JF-519, e) JF-531Rc, f) R-54a, g) R-11a, h) JF-543, i) JF-566 j) R-59, k) Testemunha, e l) Testemunha nitrogenada.

Usou-se o mesmo solo e processo de refrigeração do Exp. I, sendo que os vasos internos eram de polietileno com 2,5 kg de solo com 3% de palha de arroz e 0,2 g de  $CaCO_3$ /vaso. Fêz-se a mesma adubação básica do Exp. II. As testemunhas nitrogenadas foram adubadas como no Exp. I.

Fizeram-se leituras das temperaturas como no Exp. I (Fig. 2) e as mesmas observações e análises.

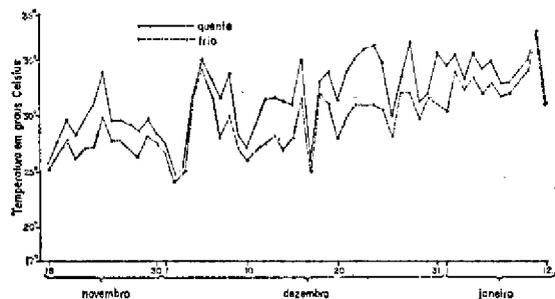


FIG. 2. Leituras diárias às 14:00 horas das temperaturas do solo no interior dos vasos do Exp. III, no período de 18.11 a 12.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Experimento I

Os resultados do primeiro experimento são apresentados nos Quadros 1 e 2 e análise de variância no Quadro 3. Como esperado, verificaram-se diferenças significativas entre as estirpes de *Rhizobium*, tanto na nodulação como no desenvolvimento das plantas.

QUADRO 1. Efeito de temperaturas excessivas do solo na nodulação da soja no Exp. I (médias de 3 repetições)

Estirpes de <i>Rhizobium</i>	N.º de nódulos/vaso			Pêso de nódulos (mg/vaso)			Pêso médio (mg/nódulo)		
	Frio	Quente	% <sup>a</sup>	Frio	Quente	% <sup>a</sup>	Frio	Quente	% <sup>a</sup>
SM-1b <sup>b</sup>	45	26	57	576	546	96	13,1	23,0	175
A-1a	51	24	47	646	406	64	13,0	18,1	139
AP-20	180	138	76	1320	940	71	7,3	6,9	94
R-10b	119	94	79	886	700	79	7,4	7,3	98
R-11a	89	90	101	913	723	79	10,2	7,6	74
R-17	149	124	83	1016	703	70	6,9	5,7	82
R-54b	160	89	55	940	543	57	5,8	6,2	106
Inoculante L. Leite	114	94	82	763	520	68	7,0	5,6	80
Testemunha	49	28	57	520	443	83	12,6	16,4	130
Testemunha + N	71	12	16	500	300	60	7,0	17,8	254

$$^a \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

<sup>b</sup> A estirpe SM-1b normalmente é uma das mais eficazes da coleção. O fato de, no presente experimento, sua inoculação não ter tido efeito, indica que a cultura usada não foi satisfatória.

QUADRO 2. Efeito de temperaturas excessivas do solo na fixação de nitrogênio e desenvolvimento de plantas de soja no Exp. I (médias de 3 repetições)

Estirpes de <i>Rhizobium</i>	Pêso seco das plantas (g/vaso)			N total nas plantas (mg/vaso)			N.º nas plantas		
	Frio	Quente	% <sup>a</sup>	Frio	Quente	% <sup>a</sup>	Frio	Quente	% <sup>a</sup>
SM-1b <sup>b</sup>	6,6	6,3	95	185	161	87	2,84	2,54	89
A-1a	7,1	5,2	73	186	119	63	2,67	2,20	82
AP-20	13,2	12,8	96	372	295	79	2,97	2,32	78
R-10	14,8	10,7	72	429	307	71	2,99	2,87	95
R-11a	12,3	11,5	93	373	339	90	3,06	2,93	95
R-17	13,5	12,8	94	369	303	82	2,75	2,37	86
R-54b	22,0	12,8	58	574	357	62	2,63	2,86	108
Inoculante L. Leite	18,2	11,6	63	509	325	63	2,78	2,82	101
Testemunha	7,5	6,9	92	163	159	97	2,63	2,28	86
Testemunha + N	15,5	13,1	84	265	162	61	1,72	1,25	72

$$^a \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

<sup>b</sup> A estirpe SM-1b normalmente é uma das mais eficazes da coleção. O fato de, no presente experimento, sua inoculação não ter tido efeito, indica que a cultura usada não foi satisfatória.

QUADRO 3. Análise de variância dos resultados apresentados nos Quadros 1 e 2 (valores F)

Fontes de variação	GL	Nódulos			Plantas		
		N.º	Pêso	Pêso médio	Pêso	N.º	N total
Estirpes	9	22,00**	11,21**	3,49** <sup>a</sup>	13,38**	10,79**	13,38**
Temperatura	1	23,27**	30,63**	2,56*	16,26**	9,55**	28,52**
Estirpes x Temperatura	9	1,25	—	4,22**	2,08	—	—
Erro	38						
C.V. (%)		27	24	28	22	12	22

<sup>a</sup>O erro usado para calcular o valor F foi o OM da interação.

Como já observado anteriormente (Döbereiner *et al.* 1970) o inoculante comercial do Lab. Leivas Leite e estirpes de *Rhizobium* R-54b formaram um grupo com maior eficiência que os demais inoculantes. Observou-se, ainda, efeito altamente significativo da temperatura do solo no número e peso dos nódulos, na fixação de nitrogênio e no desenvolvimento das plantas. Observações de efeitos pronunciados neste sentido em outras leguminosas foram feitas por Döbereiner e Aronovich (1965) e Ferrari *et al.* (1967), apesar das diferenças relativamente pequenas de temperatura do solo, e que agiram durante poucas horas por dia. Nas Fig. 1 e 2 são apresentadas as variações diárias de temperaturas nos Experimentos I e III, com as máximas diurnas. No Exp. I, nos tratamentos a "quente", em 12 dias a temperatura ultrapassou 33°C, sendo que nos tratamentos a "frio" o solo nunca atingiu a esta temperatura. Os efeitos pronunciados destas temperaturas poderiam ser explicados pela inativação de enzimas envolvidas na simbiose e que levam algum tempo para serem recuperadas.

Foi significativa a interação estirpes x temperaturas no peso médio dos nódulos, sendo que os tratamentos que apresentaram menor número de nódulos (SM-1b, A-1a, T e TN) foram aqueles que apresentaram maiores nódulos nos tratamentos a "quente". Os demais inoculantes apresentaram crescimento de nódulos praticamente igual nas duas temperaturas do solo. No tratamento a "quente" o número de nódulos foi mais afetado que o seu desenvolvimento (peso médio), indicando que a sobrevivência da bactéria no solo foi mais prejudicada que o desenvolvimento do nódulo uma vez iniciado; este efeito parece variar

ainda com as estirpes. Foram calculados os valores percentuais dos pesos totais de nódulos alcançados nos vasos a "quente" em relação aos tratamentos a "frio", parecendo que as estirpes provenientes da nodulação natural foram mais tolerantes enquanto a R-54b foi a mais afetada por temperaturas elevadas do solo.

#### Experimento II

Os resultados do Experimento II são apresentados nos Quadros 4 e 5 e a análise de variância no Quadro 6. Estes dados confirmam as diferenças entre estirpes e o efeito pronunciado da temperatura do solo na nodulação e crescimento da soja. Como no primeiro experimento, o número de nódulos geralmente foi mais afetado pelo calor que o seu peso médio. Os nódulos provenientes da infecção natural apresentaram maior crescimento nos tratamentos "quentes", enquanto os provenientes do inoculante de São Paulo e das estirpes R-54b e CB-1809 tiveram seu crescimento prejudicado nesse tratamento. Com os demais inoculantes, praticamente, não houve diferença de crescimento dos nódulos com as duas temperaturas do solo. Neste experimento não foi confirmado o maior crescimento dos nódulos no tratamento "quente" da estirpe SM-1b, verificado no Experimento I. Parece que a nodulação com inoculante da estirpe SM-1b no Experimento I foi, unicamente, devida à infecção natural, pois geralmente esta estirpe apresenta uma nodulação muito superior à verificada naquele experimento.

No presente experimento foi ainda significativa a interação estirpes x temperaturas no peso dos nódulos e das plantas. Os inoculantes de São Paulo,

QUADRO 4. Efeito de temperaturas excessivamente altas do solo na nodulação da soja no Exp. II (médias de 3 repetições)

Estirpes de <i>Rhizobium</i> ou inoc. misto	N.º de nódulos/vaso			Peso de nódulos (mg/vaso)			Peso médio (mg/nódulo)		
	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*
Inoc. São Paulo	77	63	83	608	376	62	7,9	5,9	75
In. L. Leite	60	47	78	425	314	74	7,0	6,6	94
In. Curitiba	53	52	98	379	307	81	7,0	5,9	84
R-54b	88	65	74	360	320	88	6,2	4,9	79
CB-1809	76	66	87	511	295	58	6,6	4,4	67
CB-1802	46	33	72	437	337	77	9,3	10,2	109
SM-1b	85	68	80	503	348	69	5,9	5,0	85
Testemunha	53	36	64	318	346	109	6,0	9,4	157

$$* \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

QUADRO 5. Efeito de temperaturas excessivamente altas do solo na fixação de N e desenvolvimento da soja no Exp. II (médias de 3 repetições)

Estirpes de <i>Rhizobium</i> ou inoc. misto	Peso seco das plantas (mg/vaso)			N total das plantas (mg/vaso)			N% nas plantas		
	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*
Inc. São Paulo	6,8	4,0	68	203	106	52	2,9	2,6	90
In. L. Leite	6,6	4,2	64	239	124	52	3,5	3,0	86
In. Curitiba	4,5	4,3	96	123	116	94	2,7	2,7	100
R-54b	6,2	5,2	84	168	122	72	2,7	2,3	85
CB-1809	7,8	4,9	63	283	149	53	3,6	3,0	83
CB-1802	5,9	5,4	92	162	126	78	2,7	2,3	85
SM-1b	5,9	4,5	76	197	121	61	3,2	2,7	84
Testemunha	4,8	4,7	98	129	116	90	2,6	2,4	92

$$* \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

QUADRO 6. Análise de variância dos resultados apresentados nos Quadros 4 e 5 (valores F)

Fontes de variação	GL	Nódulos			Plantas		
		N.º	Peso	Peso médio	Peso	N%	N total
Temperatura	1	9,38**	32,92**	—	41,07**	5,46**	23,06**
Estirpes	7	5,62**	3,78**	6,96**	2,20*	2,41*	2,33*
Estirpes x temperatura	7	—	2,50*	2,18	2,56*	—	1,34
Resíduo	30						
C.V. (%)		25	18	22	15	16	29

Leivas Leite, CB-1809 e SM-1b apresentaram peso de nódulos e peso da planta mais prejudicados nos tratamentos a "quente", enquanto os inoculantes de Curitiba, CB-1802 e R-54b foram menos afetados neste tratamento. Este último grupo de inoculantes foi o que menor número e peso de nódulos apresentou, sendo mesmo nos vasos a "frio" praticamente iguais aos da testemunha. Isto poderia ser explicado, por um lado, pela maior resistência do inoculante, e por outro, por uma maior percentagem de nodulação natural, que em todos os três experimentos praticamente não variou com as temperaturas do solo. Isto é confirmado no N total das plantas onde, com os inoculantes de Curitiba, CB-1802 e R-54b, nos tratamentos a "quente", os valores são similares aos da testemunha.

### Experimento III

Os resultados do Experimento III são apresentados nos Quadros 7 e 8 e a sua análise de variância no Quadro 9.

Neste experimento, a não ser no peso de nódulos, não se verificaram diferenças entre estirpes de *Rhi-*

*zobium*, uma vez que foram usadas estirpes já comprovadas como eficazes.

Como nos experimentos anteriores, verificou-se efeito altamente significativo da temperatura excessivamente alta do solo, que reduziu o número de nódulos, o N fixado e o peso seco das plantas. Como nos experimentos anteriores, o efeito da temperatura agiu principalmente sobre o *Rhizobium* no solo e a iniciação dos nódulos sem afetar o seu desenvolvimento posterior. O efeito da temperatura sobre o N fixado que não foi observado no peso dos nódulos indica uma redução da eficiência nodular. Este fenômeno será abordado mais adiante.

Neste experimento podemos observar ainda o efeito da temperatura em duas variedades de soja. A interação Var. x Temp. foi altamente significativa para o peso dos nódulos e o peso das plantas e significativo para o N total, indicando sensibilidades diferentes nas duas variedades. Enquanto a nodulação e fixação do N da Var. Pelicano foram seriamente prejudicadas pelo calor, a Var. Abura não foi afetada. Essa observação poderia explicar a insis-

QUADRO 7. Efeito de temperaturas excessivamente altas do solo na nodulação da soja no Exp. III (médias de 3 repetições)

Variedades de soja	Estirpes de <i>Rhizobium</i>	N.º de nódulos/vaso			Peso de nódulos (mg/vaso)			Peso médio (mg/nódulo)		
		Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*
Pelicano	JF-526	250	174	70	633	602	104	3,0	3,8	126
	JF-531Re	224	142	63	498	395	79	2,2	2,9	131
	R-59	267	189	73	908	748	82	3,5	3,8	108
	JF-519	193	204	105	772	511	66	3,9	2,8	71
	JF-566	185	138	74	643	482	74	3,4	7,3	214
	R-54a	173	123	71	588	427	72	3,4	4,8	141
	JF-543	214	160	74	760	591	77	3,5	3,6	102
	SM-1b	245	241	97	981	738	75	2,4	3,3	197
	R-11a	190	167	87	856	529	61	4,4	3,4	77
	R-62	287	172	59	1067	509	47	3,5	3,2	91
Abura	JF-526	192	234	121	678	578	85	3,8	3,1	81
	JF-531Re	288	189	65	500	539	107	2,6	3,1	119
	R-59	222	187	84	830	905	109	3,8	4,8	126
	JF-519	204	212	103	520	575	110	2,9	2,8	96
	JF-566	152	170	111	429	491	114	2,8	3,3	117
	R-54a	155	119	76	477	339	71	3,4	2,9	85
	JF-543	180	145	80	456	459	100	2,4	3,3	137
	SM-1b	209	164	78	853	676	79	4,3	4,5	104
	R-11a	192	134	69	503	567	112	2,6	3,2	123
	R-62	205	133	64	851	623	73	4,2	4,5	107

$$* \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

QUADRO 8. Efeito de temperaturas excessivamente altas do solo na fixação de nitrogênio e desenvolvimento da soja do Exp. III (médias de 3 repetições)

Variedades de soja	Estirpes de <i>Rhizobium</i>	Peso das plantas (g/vaso)			N total das plantas (mg/vaso)			N% das plantas		
		Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*	Frio	Quente	%*
Pelicano	JF-526	11,3	9,5	84	275	263	96	2,5	2,7	108
	JF-531Re	10,9	10,5	96	304	300	99	2,7	3,0	111
	R-59	13,1	8,8	67	289	212	73	2,4	2,5	104
	JF-519	14,6	10,3	71	420	297	71	2,8	3,0	107
	JF-566	12,8	10,4	81	345	243	70	2,8	2,3	82
	R-54a	12,5	8,7	70	266	228	86	2,6	2,8	108
	JF-543	13,9	9,9	71	378	267	71	2,7	2,8	103
	SM-1b	9,6	9,4	98	284	240	85	3,4	2,7	79
	R-11a	13,4	7,5	56	394	181	46	2,9	2,3	79
	R-62	13,2	9,2	70	344	205	60	2,6	2,4	92
Abura	JF-526	12,8	11,1	86	341	290	85	2,7	2,6	96
	JF-531Re	12,0	12,1	100	319	351	110	2,8	3,0	107
	R-59	11,1	10,6	95	225	191	85	2,2	2,4	109
	JF-519	10,0	11,6	116	274	312	114	2,8	2,8	100
	JF-566	10,3	14,2	139	280	343	122	2,9	2,5	86
	R-54a	13,5	10,1	75	366	256	69	2,7	2,6	96
	JF-543	9,3	10,8	116	238	262	110	2,6	2,7	103
	SM-1b	13,1	11,5	87	348	284	82	2,7	2,5	93
	R-11a	9,6	11,6	121	247	277	112	2,4	2,5	104
	R-62	12,7	11,1	87	348	277	79	2,7	2,6	96

$$* \% = \frac{\text{quente} \times 100}{\text{frio}}$$

QUADRO 9. Análise de variância dos resultados apresentados nos Quadros 7 e 8 (valores F)

Fontes de variação	GL	Nódulos			Plantas		
		N.º	Pêso	Pêso médio	Pêso	N%	Nº total
Temperatura	1	9,29**	1,69	1,44	11,22**	—	13,99**
Variedade	1	1,32	—	—	—	—	—
Estirpes	9	1,7	8,41**	1,05	—	—	1,39
Temp. x Var.	1	—	8,79**	—	11,22**	1,26	6,23*
Temp. x Est.	9	—	1,38	—	—	—	—
Est. x Var.	9	—	—	—	—	—	1,00
Temp. x Var. x Est.	9	—	3,91**	—	1,12	—	2,57**
Erro	78						
C.V. (%)		40	26	44	23	33	27

tência do plantio da variedade Pelicano em São Paulo apesar de, noutras partes do país com climas mais quentes, esta variedade ter sido inferior a outras quanto à produção.

Finalmente podemos observar neste experimento a interação tríplice altamente significativa para pêso de nódulos e nitrogênio total, indicando efeitos específicos sobre a simbiose. Como pode ser melhor observado nas percentagens (%) da nodulação e do N total dos vasos "quentes" em relação aos vasos "frios", na variedade Pelicano as estirpes JF-519, JF-566 e R-62 foram das mais sensíveis, enquanto que na variedade Abura estas estirpes nos vasos "quentes" fixaram tanto ou mais nitrogênio que nos vasos "frios". Por outro lado, na variedade Pelicano a estirpe JF-526 não parece ter sido afetada pelo calor e o foi na variedade Abura. A estirpe R-54, como no experimento I, foi uma das mais afetadas pelo calor em ambas as variedades.

Diferença entre variedades de leguminosas forrageiras (*Stylosanthes gracilis* e de *Pueraria javanica*) com relação à tolerância de sua simbiose ao calor foram observados por Souto e Döbereiner (1969).

#### Considerações gerais sobre os três experimentos

As observações expostas nos três capítulos acima se relacionaram ao pêso dos nódulos e ao N total fixado e a sua dependência à temperatura do solo. Os efeitos da temperatura na simbiose, em trabalhos anteriores com leguminosas forrageiras (Ferrari *et al.* 1967, Döbereiner & Aronovich 1965, Souto & Döbereiner 1969), se manifestaram sobre o pêso dos nódulos e o nitrogênio das plantas, permanecendo, entretanto, constante a eficiência nodular, sendo que a regressão entre o N total e o pêso dos nódulos não foi afetada pela temperatura. No presente trabalho, o mesmo não foi observado com a soja.

QUADRO 10. Coeficiente de regressão *b* e teste *F* de significância das equações dos Exp. I, II e III<sup>a</sup>

	Exp. I		Exp. II		Exp. III	
	<i>b</i>	F	<i>b</i>	F	<i>b</i>	F
Quente normal	0,38	*	0,11	—	0,20	**
Quente excep.	0,67	*	0,11	—	0,30	**
Frio normal	0,30	**	0,27	**	0,41	**
Frio excep.	0,70	**	0,57	**	0,60	**

\* = 5%, \*\* = 1%.

No Quadro 10 são apresentados os coeficientes de regressão dos três experimentos e no Quadro 11 os testes *t* entre as linhas obtidas. No primeiro e segundo experimentos não se observaram diferenças entre os coeficientes de regressão dos vasos frios e quentes. No terceiro experimento, essa diferença foi altamente significativa. Representando o coeficiente da regressão *b* das referidas regressões, a eficiência nodular, isto é, a quantidade de N fixado por unidade de pêso nodular, podemos concluir que a temperatura excessiva prejudicou o mecanismo da fixação do N em si. Comparando as temperaturas observadas no primeiro e terceiro experimentos, observamos em linhas gerais a tendência, no primeiro, a um decréscimo, enquanto que, no terceiro, tende a aumentar. Isto se deve ao fato de o primeiro experimento ter sido feito no período de janeiro-fevereiro, enquanto que o terceiro foi feito no início da segunda quinzena de novembro até a primeira de janeiro. Portanto, dever-se-iam esperar, no primeiro experimento, efeitos mais acentuados da temperatura na fase da iniciação e formação dos nódulos, enquanto no terceiro experimento o maior número de dias com

temperatura elevada se deu quando o processo da fixação já estava em pleno funcionamento. Situando-se o início da fixação em torno dos 30 dias (observações de outros experimentos não publicados), não observamos no primeiro experimento nenhum dia com máxima diurna acima de 33°C no período da fixação (30-51 dias após o plantio). No terceiro experimento, neste período, a temperatura subiu 18 vezes acima deste limite.

QUADRO 11. Teste t para testar diferenças entre os coeficientes de regressão dos Exp. I, II e III\*

	Exp. I	Exp. II	Exp. III
Quente: Exc. x Norm.	3,49**	—	—
Frio: Exc. x Norm.	3,02**	2,34*	3,60**
Exc.: Frio x Quente	—	1,90	2,80**
Norm.: Frio x Quente	—	—	4,00**

\* = 5%, \*\* = 1%.

Ainda nos Quadros 10 e 11 observamos diferenças significativas entre os coeficientes de regressão das estirpes normais (SM-1b, A-1a, AP-20, Inoc. de R-10b, R-11a, R-17, Inoc. de S. Paulo, Inoc. de Curitiba, CB-1802, R-59, R-62) e excepcionais (R-54b, inoculante Leivas Leite, CB-1809, JF-526, JF-531Rc, JF-519, JF-566, JF-543 e R-54a) nos vasos frios em todos os três experimentos. Em trabalho anterior foi sugerido (Döbereiner *et al.* 1970) a diferenciação das estirpes de *Rhizobium japonicum* em dois grupos, considerados normal e excepcional, tendo sido as estirpes R-54a, CB-1809 e R-11a consideradas excepcionais e 28 outras normais. O caráter excepcional da estirpe R-11a foi observado em apenas um exper-

imento, não tendo sido confirmado no Experimento III do presente trabalho. Por outro lado, foi confirmada a eficiência excepcional da estirpe R-54 nos três experimentos e da CB-1809 no experimento II. Além dessas estirpes, o inoculante preparado pelo Laboratório Leivas Leite, usado nos Experimentos I e N as estirpes (JF-543, JF-519, JF-531Rc, JF-526 e JF-566) no experimento III se apresentaram como excepcionais. Testes sorológicos preliminares com as estirpes JF-519, JF-543 e JF-526 indicam existirem entre elas reações similares em testes de aglutinação, sendo que o inoculante do Lab. Leivas Leite é preparado a partir dessas estirpes (informação pessoal). A estirpe CB-1809, apesar de sempre demonstrar caráter excepcional, não apresentou reação de aglutinação com as demais estirpes que apresentam esta característica.

## REFERÊNCIAS

- Döbereiner, J. & Aronovich, S. 1965. Efeito da calagem e da temperatura do solo na fixação de nitrogênio de *Cenrosema pubescens* Benth. em solo com toxidez de manganês. Anais IX Congr. int. Pastagens, São Paulo, p. 1121-1124.
- Döbereiner, J. & Alvahydo, R. 1963. Toxidez de manganês em solos da série Ecologia. IX Congr. bras. Ci. Solo, Fortaleza, Ceará.
- Döbereiner, J., Franco, A.A. & Guzmán, I. 1970. Estirpes de *Rhizobium japonicum* de eficiência excepcional. Pesq. agropec. bras. 5:155-161.
- Döbereiner, J. & Pimenta, T.G. 1964. A simple method to lower the soil temperature in greenhouse experiments. Soil Biol. int. News Bull n.º 2, p. 30-33.
- Ferrari, E., Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1967. Efeito da temperatura do solo na nodulação e no desenvolvimento da soja perene (*Glycine javanica* L.). Pesq. agropec. bras. 2:461-466.
- Joffe, A., Weyer, F. & Saubert, S. 1961. The role of root temperature in symbiotic nitrogen fixation. South Afr. J. Sci. 57:278.
- Mes, M.G. 1959. The influence of night temperature and day length on the growth, nodulation, nitrogen assimilation and flowering of *Stylosobium deringianum* (velvet bean). South Afr. J. Sci. 55:35-39.
- Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1969. Efeito da temperatura do solo na fixação de nitrogênio em alfafa do Nordeste (*Stylosanthes gracilis* H.B.K.) e Kudzu tropical (*Pueraria javanica* (Rexb.) Benth). Congr. bras. Ci. Solo, Curitiba, Paraná.

## EFFECTS OF EXCESSIVE SOIL TEMPERATURES IN THE SYMBIOSIS OF SOYBEAN (*Glycine max* L. Merrill)

### Abstract

In three greenhouse experiments the effects of high soil temperature on nodulation and nitrogen fixation were studied on four soybean varieties.

Daily maximal temperatures above 33°C reduced nodule initiation and nodule efficiency while nodule growth was less affected.

*Rhizobium* strains occurring naturally in the soil seemed more tolerant to excessive soil temperature than selected strains.

Soybean varieties and *Rhizobium* strains varied in their tolerance to excessive soil temperatures.