

FATORES NUTRICIONAIS LIMITANTES DO DESENVOLVIMENTO DE TRÊS LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS EM UM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO¹

PAULO AUGUSTO DA EIRA², DEJAIRO LOPES DE ALMEIDA² e WANLOU COELHO E SILVA³

SINOPSE.— Num experimento de potes em casa de vegetação estudaram-se as respostas de três leguminosas tropicais, *Glycine javanica* L. var. Tinaroo, *Phaseolus atropurpureus* D.C. e *Stylosanthes gracilis*, a diferentes nutrientes aplicados a um solo podzólico vermelho-amarelo. Usou-se o esquema fatorial completo 2⁴ para a *Glycine javanica* L. e um esquema fracionado (+ PKCaM) com a metade dos tratamentos exigidos para o completo, para as duas outras leguminosas.

A análise estatística dos resultados da *Glycine javanica*, foi feita como fatorial 2⁴ e também nos fatoriais fracionados correspondentes aos dois sub-blocos — PKCaM e + PKCaM. Os resultados das duas outras leguminosas foram analisados somente no fracionado + PKCaM.

A leguminosa que apresentou maior produção de matéria verde e seca, bem como melhor nodulação e teores mais altos de nitrogênio, foi a *P. atropurpureus*. Em seguida vem a *S. gracilis* e por fim a *Glycine javanica*.

As três leguminosas reagiram diferentemente aos adubos, o que vem mais uma vez justificar experimentos que visem a estudar qual a que mais se adapta a determinada região e quais os fatores nutricionais que limitam o seu desenvolvimento.

O fósforo aumentou a produção de matéria verde e seca, a nodulação e o N total das três leguminosas. Aumentou o N percentual da *P. atropurpureus* e diminuiu o da *Glycine javanica* e da *Stylosanthes gracilis*. Isto nos parece mais um fator favorável a *P. atropurpureus* pois ao se aplicar fósforo obtêm-se plantas com maior valor nutritivo.

O potássio aumentou a produção de matéria verde da *Stylosanthes gracilis*. Na *Glycine javanica*, aumentou o número e o peso dos nódulos e diminuiu o N percentual.

O cálcio + magnésio aumentou o N percentual da *P. atropurpureus* e o N total da *Glycine javanica*.

Os micronutrientes (B, Mo, Fe, Cu e Zn) aumentaram a produção de matéria verde e seca, o número e o peso dos nódulos e o N total da *Glycine javanica*. Para a *P. atropurpureus* houve aumento do peso verde e seco da parte aérea e do N percentual, ao passo que na *S. gracilis* o aumento foi no peso verde da parte aérea, no N percentual e N total.

Com relação à comparação dos três esquemas usados na análise dos dados da *G. javanica*, concluiu-se que é possível utilizar qualquer dos dois fracionados em substituição ao fatorial completo 2⁴, já que os mesmos, além da redução do número de tratamentos à metade, com economia de área, mão-de-obra e material, permitem avaliar satisfatoriamente os efeitos simples e as interações de 1.^a ordem.

INTRODUÇÃO

Em algumas áreas do Estado do Rio de Janeiro com grandes perspectivas para a pecuária predominam pastos com gramíneas, em sua maioria sem condições de adubação nitrogenada em face do preço elevado do nitrogênio e à perda do referido nutriente, em virtude da topografia destas áreas, geralmente bastante acidentada, e da facilidade com que o mesmo é lixiviado no solo.

Visando a melhoria destas pastagens de uma maneira econômica, seria interessante o aproveitamento da capacidade fixadora do nitrogênio atmosférico apresentada pelas leguminosas, fazendo-se a introdução, nestas áreas, de leguminosas forrageiras isoladas ou em consorciação com gramíneas.

Para resolver o problema do estabelecimento e desenvolvimento das leguminosas em determinados solos, devem ser feitos estudos para se verificar qual a que melhor se adapta às condições locais, bem como quais os nutrientes limitantes à sua implantação. Isto é importante em virtude das diferentes exigências quanto a clima, solo, nutrientes, etc., apresentadas pelas plantas. Souto e Döbereiner (1968), em experimento com duas variedades de soja perene, verificaram que plantas supridas com elevadas dosagens de P₂O₅ (120 e 200 kg/ha) tiveram compensados os efeitos deletérios das tem-

¹ Recebido 2 abr. 1971, aceito 12 dez. 1971.

Apresentado na V Reunião Latino-Americana de *Rhizobium*, IPEACS, Km 47, Brasil, 22 a 24 de julho de 1970.

² Eng.º Agrônomo do Setor de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, Campo Grande, CB, ZC-26, e bolsista Pesquisador Assistente do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

³ Farmacêutico Químico do Departamento de Pesquisa e Experimentação da Fundação Zoológica do Distrito Federal, Brasília, DF.

peraturas excessivas do solo (entre 35 e 40°C), sendo a var. SP 1 mais sensível a estas temperaturas que a var. Tinaroo. Ainda Souto (1969), trabalhando com quatro leguminosas em solos da Baixada Fluminense, notou que a *Phaseolus atropurpureus* foi a que melhor se estabeleceu em relação às demais, tendo a *Centrosema pubescens* se estabelecido melhor em solos mais pesados.

Observou Gartner (1965) que a *Glycine javanica* requer, para um bom desenvolvimento, solos com alto nível de fertilidade e que a *Stylosanthes gracilis* é capaz de se desenvolver bem em solos ácidos e com mais baixo teor de fósforo que aquela aparentemente requerido pela soja perene.

França e Carvalho (1970), trabalhando em solo de cerrado, notaram reações diferentes de cinco leguminosas às deficiências do solo e às condições locais, tendo a soja perene var. Tinaroo se apresentado como a de melhor produção e a Kudzu como a de menor produtividade. Ainda em solo de cerrado, Jones e Freitas (1970) notaram que diferentes espécies de leguminosas tropicais apresentavam diferentes necessidades de cálcio, tendo a *Centrosema pubescens*, *Phaseolus atropurpureus* e *Glycine javanica* apresentado produções mais altas em pH mais elevado (6,5), ao passo que a *Stylosanthes gracilis* atingia melhores produções em solo com pH 5,3.

Jones et al. (1970) verificaram, quanto à produção, respostas diferentes da alfafa e sete leguminosas forrageiras tropicais ao cálcio, enxofre e micronutrientes aplicados num latossolo vermelho de campo cerrado. Andrew e Robins (1969a), trabalhando com nove leguminosas tropicais e uma temperada, obtiveram respostas diferentes ao fósforo, sendo a *P. atropurpureus* e a *D. intortum* as que requeriam maior quantidade de fósforo para o máximo de produção, situando-se a *G. javanica* entre as intermediárias.

Estudos exploratórios para verificação das necessidades nutricionais de diferentes plantas, bem como dos elementos deficientes em vários solos, foram feitos por vários autores (McClung et al. 1958, Freitas et al. 1960, França & Carvalho 1970). Em todos estes, foi usado o chamado "esquema todo menos um", constituído de um tratamento completo, onde todos os nutrientes testados estão presentes e uma série de tratamentos onde é omitido um dos nutrientes por vez, acrescido de uma testemunha sem adubo. Eira et al. (1969), em experimento exploratório, feito com milho em solo de cerrado, testaram o funcionamento de dois fatoriais fracionados, comparando seus resultados com os obtidos no fatorial completo 2° e obtiveram resultados satisfatórios. Baseados nestes resultados, os autores decidiram optar pelo fatorial fracionado, uma vez que os efeitos principais e as interações de 1.ª ordem poderiam ser satisfatoriamente avaliados usando-se número reduzido de tratamentos.

Neste trabalho foram estudadas as respostas de três leguminosas forrageiras tropicais a diferentes nutrientes aplicados em um solo podzólico vermelho-amarelo, usando-se o fatorial completo 2° para uma delas e o fracionado para as duas outras. Os dados referentes àquela que foi instalada em fatorial completo 2° foram analisados como fatorial completo e nos dois fracionados, comparando-se então os resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no experimento é um podzólico vermelho-amarelo coletado na Fazenda Santa Mônica (Juparanã, RJ) em área com declive acentuado, boa drenagem e cobertura natural de pastos. A análise química deste solo apresentou os seguintes resultados: 2 ppm de P; 55 ppm de K; 3,1 mE de Ca + Mg/100 cm³; 0,1 mE Al/100 cm³ e pH 5,4.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se potes plásticos com 2,3 kg de solo. As três leguminosas usadas como plantas teste foram: a soja perene (*Glycine javanica* L. var. Tinaroo) em fatorial completo 2°; o siratro (*Phaseolus atropurpureus* D.C.) e a *Stylosanthes gracilis* em fatoriais fracionados + PKCaM com os tratamentos que, no quadro de sinalização para o cálculo dos efeitos da interação de mais alta ordem, receberam sinal positivo.

Os nutrientes testados foram: P, K, Ca + Mg e micronutrientes em dois níveis, e a disposição dos potes foi em blocos ao acaso com três repetições. Foi feita a inoculação de todas as sementes com *Rhizobium*.

Os níveis de fósforo foram 0 e 140 mg de P₂O₅ por kg de solo, usando-se como fonte o fosfato ácido de sódio (NaH₂PO₄.H₂O) aplicado em solução. Os níveis de potássio foram 0 e 90 mg de K₂O por kg de solo usando-se o fosfato ácido de potássio (KH₂PO₄) nos tratamentos que também recebiam fósforo e o KCl naqueles que só recebiam este elemento, ambos aplicados em solução.

A calagem foi feita com uma mistura de carbonato de cálcio e sulfato de magnésio na proporção de 2,0 g para 0,5 g, respectivamente. O cálculo da quantidade de mistura a ser usada foi feito mediante uma curva de neutralização onde 50 g de solo foram incubadas durante 48 horas, com quantidades crescentes da mistura de CaCO₃ e MgSO₄. Após o período de incubação foi determinado o pH em cada um dos copos e obteve-se como quantidade de mistura para atingir o pH 6,5, 1 g por kg de solo.

A solução de micronutrientes era assim constituída: 3,950 g de CuSO₄.5H₂O; 2,227 g de ZnSO₄.7H₂O; 0,250 g de H₃BO₃; 0,500 g de Na₂(MoO₄).2H₂O; 5,000 g de FeSO₄.7H₂O; 5,000 g de ácido cítrico e água destilada para completar 250 ml. Aplicou-se um ml desta solução por kg de solo nos tratamentos correspondentes.

Todos os produtos utilizados como fonte de elementos eram pró-análise.

Após a aplicação dos nutrientes fez-se a homogeneização do solo dos potes e procedeu-se ao plantio, deixando-se após o desbaste 5 plantas nos potes com soja perene e com siratro e 10 nos de estilantes.

Procurou-se manter, no decorrer do experimento, a umidade do solo em torno da capacidade de campo, mediante regas periódicas, e fez-se a colheita 50 dias após o plantio. Fez-se o corte das plantas rente ao solo e determinou-se no ato da colheita o peso verde da parte aérea. Após secagem em estufa a 55°C, determinaram-se os pesos secos da parte aérea e da raiz. Procedeu-se ainda à determinação do número e do peso seco dos nódulos. Fez-se a análise do nitrogênio na planta toda (parte aérea + raiz) pelo método de Kjeldahl. Calcularam-se ainda o peso seco de 100 nódulos e o N total.

Quando em campo instalam-se experimentos em esquema fatorial propriamente dito, tende-se a dividir os tratamentos em dois ou mais sub-blocos de forma a facilitar encontrar faixas homogêneas de solo dentro dos mesmos. Para esta divisão em sub-blocos faz-se necessário aplicar o processo do confundimento, usando-se a sinalização para o cálculo do efeito da interação de mais alta ordem; isto, quando se deseja dividir em dois sub-blocos. Num dos sub-blocos colocam-se então os tratamentos que no quadro de sinalização apresentam sinal positivo e no outro os que apresentam sinal negativo.

Neste trabalho, feito no delineamento de blocos ao acaso com três repetições, cada bloco era constituído, no caso da soja perene, dos 16 tratamentos correspondentes às 16 combinações de elementos.

Para comparação entre o fatorial completo e os dois fracionados na soja perene, a análise foi dividida em duas fases: uma onde em blocos ao acaso se estudou a variância dos efeitos principais e suas interações de 1.^a, 2.^a e 3.^a ordens (fatorial completo); e outra onde, ainda em blocos ao acaso, estudaram-se os efeitos dos

tratamentos componentes de um e de outros sub-bloco, para se verificar se os efeitos significativos, observados na análise do completo, são confirmados nas análises dos oito tratamentos colocados em cada um dos sub-blocos.

No caso do sitrato e do estilosantes, a análise estatística foi feita no fracionado + PKCaM, já que as duas foram instaladas somente com os tratamentos deste esquema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Glycine javanica

Os resultados de pH do solo, produção de matéria verde e matéria seca, nodulação e nitrogênio da planta, referente à *G. javanica*, encontram-se no Quadro 1. Vêem-se ainda neste quadro, assinalados por sinais positivos e negativos, os tratamentos que são analisados depois, respectivamente, como fatorial fracionado + PKCaM e - PKCaM.

QUADRO 1. Resultados do pH do solo, produção de matéria verde e seca, nodulação e nitrogênio na *G. javanica* (médias de três repetições)

Trat.	Sinal*	pH solo	Peso verde parte aérea (g/pote)	Peso seco p/aérea (g/pote)	Peso seco raiz (g/pote)	Peso seco total (g/pote)	N.º nódulos	Peso seco nódulos (mg/pote)	Peso seco 100 nód. (mg/pote)	% N	N total (mg/pote)
P	—	5,8	14,1	3,5	0,9	4,4	7	4	51	1,63	71
K	—	4,9	6,5	1,1	0,2	1,3	1	1	50	3,33	42
Ca	—	6,4	9,0	1,8	0,5	2,3	0	0	0	2,78	64
M	—	5,3	8,9	2,1	0,5	2,6	1	1	17	2,69	67
PK	+	5,3	14,7	4,2	1,3	5,5	55	36	64	1,31	71
PCa	+	6,5	15,4	4,2	1,0	5,2	31	49	162	1,64	84
PM	+	5,4	15,8	4,5	1,0	5,5	14	19	88	1,53	84
KCa	+	6,3	7,5	1,6	0,4	2,0	0	0	0	2,70	52
KM	+	5,0	10,1	2,4	0,8	3,2	0	0	0	2,27	72
CaM	+	6,1	8,4	1,8	0,7	2,5	12	23	63	2,57	61
PKCa	—	6,5	16,3	4,4	1,1	5,5	27	29	113	1,62	88
PKM	—	5,3	15,3	4,5	1,4	5,9	62	182	284	1,63	96
PCaM	—	6,4	17,0	4,8	1,2	6,0	47	80	164	1,82	109
KCaM	—	6,3	11,9	2,7	0,7	3,4	27	42	61	2,38	74
PKCaM	+	6,1	15,4	4,4	1,1	5,5	28	61	218	1,66	91
T	+	5,1	6,2	1,1	0,2	1,3	0	0	0	3,27	43

* + = tratamentos que constituem o fracionado + PKCaM (Quadro 3), — = tratamentos que constituem o fracionado — PKCaM (Quadro 4).

QUADRO 2. *G. javanica*: efeitos significativos indicados pela análise de variância como fatorial completo *

Efeitos	pH solo	Peso verde p/aérea	Peso seco p/aérea	Peso seco raiz	Peso seco total	N.º nódulos ^b	Peso seco nódulos ^b	Peso seco 100 nód. ^b	% N	N total
P	4,9*	168,5**	59,3**	14,5**	74,0**	92,66**	116,50**	200,24**	-27,49**	652**
K	-3,1	9,1	4,3	2,8	7,0	24,32*	34,10*	35,40	-3,01	8
Ca	26,1**	25,1	6,9	1,0	8,0	17,00	29,24	46,08	-1,43	236*
M	-1,3	39,5*	13,7**	6,4**	22,0**	22,04	56,22**	62,54*	-5,17**	414**
PK	-0,9	-12,7	-1,1	1,8	0,8	18,34	29,40	22,36	0,69	-13
PCa	-2,9	-2,5	-0,5	-2,4	-3,0	-9,04	-5,86	23,20	5,35**	64
PM	-2,3	-21,5	-4,1	-3,0	-7,0	-6,80	23,36	19,10	7,89**	-22
KCa	1,9	-0,7	-1,6	-4,0	-5,8	-28,92*	-45,31**	-32,84	0,39	-92
KM	0,1	7,1	0,9	0,6	1,6	-1,08	21,52	22,34	-0,95	58
CaM	-2,3	-12,3	-5,3	-1,2	-6,8	14,78	3,42	16,78	3,31	-134
PKCa	-1,9	-3,3	-3,7	-1,4	-5,0	-37,44**	-48,96**	-25,28	-0,19	-68
PKM	-1,3	-29,1*	-8,1	-2,0	-10,2	-5,80	15,66	50,46	2,59	-118
PCaM	1,1	2,7	1,3	1,0	2,4	-12,02	-30,62	-47,28	-3,35	74
KCaM	-0,5	8,1	2,7	1,8	1,0	3,90	-8,72	8,62	-0,51	-46
PKCaM	-2,3	-16,9	-2,3	0,0	-2,4	-9,70	-21,50	-32,98	-2,69	-154
C.V. (%)	4,75	10,83	20,18	39,52	20,09	43,35	54,80	54,80	12,54	17,65

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

^b Dados transformados em $\sqrt{n+1}$.

No Quadro 2 encontram-se os resultados das análises estatísticas da *G. javanica* no fatorial completo 2⁴, com os efeitos obtidos para as várias fontes pesquisadas e suas significâncias. Nos Quadros 3 e 4 vêm-se os resultados das análises estatísticas nos dois fatoriais fracionados: + PKCaM e - PKCaM, respectivamente.

Nas análises para o fatorial completo nota-se o efeito positivo e significativo do fósforo em tôdas as determinações feitas, com exceção da % de nitrogênio, onde é negativo.

O aumento obtido no pH do solo foi devido à liberação do sódio, já que, como fonte de fósforo, foi usado NaH₂PO₄.H₂O.

A resposta ao fósforo era de se esperar em face do teor baixo do referido elemento apresentado pelo solo e à grande necessidade de fósforo apresentada pela soja perene, já comprovada por vários autores. Assim, Jones *et al.* (1970), em solo de cerrado, obtiveram, na ausência de fósforo, redução significativa no peso seco da soja perene bem como aumento da % de N. Também França e Carvalho (1970) e Andrew e Robins (1969a) obtiveram aumento da produção de peso seco da soja perene na presença de fósforo, tendo Andrew e Robins (1969b) notado, ainda, que a produção aumentava com o aumento do fósforo aplicado, mas não conseguiram correlação significativa do aumento de fósforo com a % de N e consideraram a soja perene como a menos eficiente neste ponto. Mikkelsen *et al.* (1963), também com soja em solo arenoso de Pirassununga, com baixo teor de fósforo, obtiveram aumento da produção com a aplicação de fósforo, concluindo como indispensável a adubação fosfatada.

O fósforo aumentou bastante o peso das plantas assim como a nodulação e o N total. Foi ainda o que mais diminuiu a percentagem de N. Parece que as bactérias não fixaram N tão rápido quanto necessário, frente ao aumento do desenvolvimento, dado pelo fósforo.

O potássio só apresentou efeito significativo no número e no peso seco dos nódulos, em ambos positivo, indicando como importante sua presença para a formação e desenvolvimento dos nódulos.

A aplicação de cálcio + magnésio provocou aumento no pH do solo e no N total, indicando maior fixação de N no solo com calagem. Isto vem corroborar os resultados de Jones *et al.* (1970) e França e Carvalho (1970), que obtiveram diminuição do N total quando omitiram o Ca + Mg.

Com os micronutrientes houve aumento na produção de matéria verde e seca, peso e tamanho dos nódulos e N total; e diminuição do N percentual. Como foi usada uma solução contendo Cu, Zn, B, Mo e Fe, não há como indicar qual o que mais influenciou. É possível, no caso do aumento do peso e tamanho dos nódulos e do N total, ser o boro o responsável, uma vez que com cálcio + magnésio (pH 6,5) houve aumento do N total. Mulder (1948), trabalhando com ervilha, concluiu que as plantas não formavam nódulos quando em soluções nutritivas sem boro e que morriam por deficiência de nitrogênio. Por outro lado, a importância da relação cálcio-boro foi salientada por Wayne e De Bruyn (1956).

Entre os efeitos de interações de 1.^a ordem, apresentaram-se significantes e positivos os de PCa e PM para N percentual. Os efeitos isolados de P, Ca ou M foram negativos, e no entanto, PCa e PM tiveram efeitos positivos, o que nos indica que, em conjunto, foram menos prejudiciais que quando separados. Outra interação de 1.^a ordem significativa foi KCa, que teve efeito negativo para número e peso seco dos nódulos. Isto indica que houve menor aumento no número e peso dos nódulos na presença de ambos (K e Ca) que na presença de cada um isoladamente, quando então apresentaram efeitos positivos.

Houve significância para PKCa, com efeitos negativos no número e peso dos nódulos e para PKM no peso verde da parte aérea, sendo o efeito de cada um dos elementos em separado, positivo.

A análise dos resultados da soja perene, como fracionado + PKCaM (Quadro 3), apresenta como diferença do completo a não significância para o efeito do fósforo no pH do solo; apesar de também ser positivo, o efeito do potássio no número e peso seco dos nódulos também não foi significativo mas houve significância para o seu efeito negativo na % de N, e houve sempre concordância nos sinais. Para o cálcio + magnésio não houve significância para o aumento do N total e houve para o peso seco de 100 nódulos. Não houve efeitos significativos dos micronutrientes no peso verde da parte aérea, peso seco da raiz, peso e tamanho dos nódulos, nisto diferindo do fatorial completo. É preciso aqui lembrar que, exceto no peso verde da parte aérea, nestas determinações houve um alto coeficiente de variação em qualquer dos três esquemas. A nodulação apresentada pela soja perene neste experimento foi bastante deficiente e irregular, daí decorrendo, talvez, o alto CV.

QUADRO 3. *G. javanica*: efeitos significativos indicados pela análise de variância como fatorial fracionado + PKCaM *

Efeitos	pH solo	Peso verde p/aérea	Peso seco p/aérea	Peso seco raiz	Peso seco total	N.º nódulos ^b	Peso seco nódulos ^b	Peso seco 100 nód. ^b	% N	N total
P	2,2	87,3**	31,0**	6,5**	37,5**	48,28**	53,89**	104,43**	-14,00**	308**
K	- 1,0	5,9	2,8	1,9	4,7	6,40	1,79	- 5,93	- 3,18**	41
Ca	12,4**	- 0,5	- 0,6	- 0,5	- 1,1	5,10	22,45	48,27*	0,58	59
M	- 1,6	18,1	6,0*	2,5	8,5*	- 7,70	3,63	18,63	- 2,68*	173*
PK ou CaM	- 1,6	-12,5	- 3,2	0,3	- 2,9	16,56*	16,41	19,57	2,00	- 73
PCa ou KM	- 1,4	2,3	0,2	- 0,9	- 0,7	- 5,06	7,83	22,77	2,20*	61
PM ou KCa	- 0,2	-11,1	- 2,8	- 3,5	- 6,3	-17,86*	-10,99	- 6,87	4,14**	- 57
C.V. (%)	6,24	15,58	17,70	50,00	17,43	42,89	55,58	60,66	2,43	17,71

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

b Dados transformados em $\sqrt{n+1}$.

QUADRO 4. *C. javanica*: efeitos significativos indicados pela análise de variância como fatorial fracionado - PKCaM *

Efeitos	pH solo	Peso verde p/área	Peso seco p/área	Peso seco raiz	Peso seco total	N.º nódulos ^b	Peso seco nódulos ^b	Peso seco 100 nód. ^b	% N	N total
P	2,7**	79,2**	28,3**	8,3**	36,5**	44,38**	62,61**	95,81**	-13,49**	349**
K	- 2,1*	3,2	1,5	0,9	2,3	18,42	32,31*	41,33	0,17	- 33
Ca	13,7**	28,6*	7,5	1,5	9,1	11,90	6,79	- 2,19	- 2,01	177*
M	0,3	21,4	9,7*	3,8**	13,5**	29,74**	52,59**	43,91*	- 2,49	241**
PK ou CaM	0,7	- 0,2	2,1	1,5	3,7	1,78	12,90	2,79	- 1,31	61
PCa ou KM	- 1,5	- 4,8	- 0,7	- 1,5	- 2,3	- 3,98	- 13,69	0,43	3,15	3
PM ou KCa	- 2,1*	- 10,4	- 1,3	0,5	0,7	11,06	34,35*	25,97	3,75*	35
C.V. (%)	2,71	18,36	23,26	29,57	22,46	46,07	53,24	51,18	15,64	18,50

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

^b Dados transformados em $\sqrt{n+1}$.

Os efeitos das interações PCa e de seus "alias" KM e KCa na percentagem de N são significativos e positivos indicando, tal qual no fatorial completo, que cada dois destes elementos em conjunto são menos prejudiciais que cada um separadamente. Para o número de nódulos houve efeito positivo e significativo para PK ou seu "aliás" CaM, que não ocorreu no fatorial completo, e para PM ou KCa, no sentido negativo. Sempre há concordância quanto ao sinal. Apesar de negativo, não há significância para o efeito das interações PM ou KCa quanto ao peso de nódulos.

A análise dos resultados da soja perene como fracionado - PKCaM (Quadro 4) apresenta aumento significativo do fósforo em todas as determinações, exceto na de N percentual, onde há diminuição, tal como no fatorial completo. Difere do fatorial completo ao mostrar significativo o efeito do potássio no pH do solo e não mostrar significância para o mesmo efeito no número de nódulos, concordando quanto aos sinais e à significância para peso de nódulos. O efeito do cálcio + magnésio é significativo e positivo no peso verde da parte aérea, não sendo o dos micronutrientes nesta determinação. Nestes dois pontos difere esta análise daquela do fatorial completo. Os micronutrientes apresentam, ainda, efeito significativo para número de nódulos e não apresentam para o N percentual, o que não ocorre no fatorial completo.

Neste esquema só há significância para as interações PM ou KCa no peso seco dos nódulos e na % de N e para PM ou KCa no pH do solo. Não há para KCa

no número de nódulos nem PM na % de N, diferindo nestas duas e na significância de PM ou KCa no pH do solo, do fatorial completo.

Quanto aos fatoriais fracionados, deve-se notar que, com relação aos efeitos simples, de um modo geral houve concordância dos dois com o fatorial completo, sendo que nos efeitos das interações, o + PKCaM parece mais concordante. Os coeficientes de variação, em algumas das determinações (produção e N na planta) são mais baixos no fracionado + PKCaM, e em outras (nodulação, principalmente), no - PKCaM. As interações de 1.ª ordem, em ambos os fracionados, são determinadas sempre com os seus "alias". "Aliases" são efeitos fatoriais representados pelas mesmas comparações de tratamentos (Cockran & Cox 1956). Em alguns casos os "aliases" são negligenciáveis, isto é, podem ser abandonados; no nosso caso, PK, PCa e PM têm como "aliases" CaM, KM e KCa, respectivamente, e nenhum deles é negligenciável.

Frente a estas observações, quando se tem em vista a redução do número de tratamentos nos experimentos exploratórios deste tipo, parece ser possível a utilização de qualquer um dos dois fracionados em substituição ao completo. Possibilidade idêntica foi constatada por Eira *et al.* (1969) em experimento com milho feito em fatorial 2⁵.

Phaseolus atropurpureus

No Quadro 5 encontram-se os resultados do experimento com *P. atropurpureus* em médias de três repetições, re-

QUADRO 5. Resultados do pH do solo, produção de matéria verde e seca, nodulação e nitrogênio na *P. atropurpureus* (médias de três repetições)

Trat.	pH solo	Peso verde p/área (g/pote)	Peso seco p/área (g/pote)	Peso seco raiz (g/pote)	Peso seco total (g/pote)	N.º nódulos	Peso seco nódulos (mg/pote)	Peso seco 100 nód. (mg/pote)	% N	N total (mg/pote)
PK	5,3	19,2	3,8	1,6	5,4	58	93	145	1,81	97
PCa	6,6	23,7	4,9	1,4	6,3	67	287	422	2,43	154
PM	5,4	24,2	5,3	1,6	6,9	58	186	302	2,32	161
KCa	6,4	14,4	2,6	0,8	3,4	38	43	110	1,06	68
KM	5,0	16,6	3,2	1,1	4,3	25	50	192	1,86	81
CaM	6,4	14,9	2,7	0,7	3,4	17	33	110	2,13	72
PKCaM	6,4	24,8	4,8	1,1	5,9	82	246	305	2,85	172
T	5,3	15,1	3,0	1,1	4,1	29	38	160	1,73	71

QUADRO 6. *P. atropurpureus*: efeitos significativos indicados pela análise da variância como fatorial fracionado + PKCaM *

Efeitos	pH solo	Peso verde p/aérea	Peso seco p/aérea	Peso seco raiz	Peso seco total	N.º nódulos ^b	Peso seco nódulos ^b	Peso seco 100 nód. ^b	% N	N total
P	2,1*	93,1**	22,0**	6,1**	28,1**	36,33**	92,12**	60,33**	5,17**	881**
K	-1,9*	8,9	-4,4	-0,7	-5,1	7,77	-9,12	-15,55	-0,37	-121
Ca	14,3**	8,1	-0,4	-4,3**	-4,7	6,33	25,58	4,87	4,97**	163
M	-1,3	24,1*	5,2*	-1,1	4,1	-5,83	5,10	5,39	3,71*	285
PK ou CaM	-0,3	-15,1	-5,2*	-1,5	-6,7	-4,13	-22,26	-34,03*	-0,17	-157
PCa ou KM	-0,9	22,3	4,4	0,5	4,9	8,10	37,04*	48,15**	1,93	239
PM ou KCa	0,3	12,3	3,6	-0,3	3,3	12,11	11,76	6,43	1,87	205
C.V. (%)	2,48	11,58	12,43	21,75	14,37	13,13	30,14	22,99	15,34	26,26

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

^b Dados transformados em $\sqrt{n+1}$.

ferentes a pH do solo, produção de matéria verde e seca, nodulação e teores do nitrogênio. Os resultados da análise estatística com os efeitos pesquisados e suas significâncias acham-se no Quadro 6.

Houve efeito significativo e positivo do fósforo para todas as fontes pesquisadas. Tal como na soja perene, o aumento acarretado pelo fósforo no pH do solo deve ser creditado ao sal usado como fonte deste elemento (fosfato monossódico). Ao contrário do que ocorreu na soja perene e no estilotantes, o fósforo aumentou a % de N no siratro, o que nos parece ser um fator favorável à sua utilização neste solo, pois com a aplicação de fósforo se teriam plantas com maior valor nutritivo.

Só houve efeito significativo do potássio no pH do solo. Na presença deste elemento houve diminuição do pH, o que não é de se estranhar já que se usou o cloreto de potássio como fonte do mesmo.

O cálcio + magnésio teve efeito positivo e significativo no pH do solo e na % de N, e negativo no peso seco da raiz.

Houve efeito positivo e significativo dos micronutrientes no peso verde e peso seco da parte aérea e na % de N. O Ca + Mg e os micronutrientes não tiveram efeito na nodulação.

Estes resultados concordam, em parte, com os de França e Carvalho (1970) que, para o siratro, obtiveram decréscimo no peso seco das plantas, no tratamento menos

P e no menos Ca + Mg, enquanto praticamente não houve alteração naquele em que foram omitidos os micronutrientes. Resposta para a aplicação de calcário também foi obtida por Jones e Freitas (1970) para três leguminosas em solo de cerrado, entre elas o siratro. Truong *et al.* (1967) obtiveram maior crescimento do siratro em presença do P e Mo.

A interação PK ou seu "aliás" CaM foi significativa e negativa para peso seco da parte aérea e peso seco de 100 nódulos, indicando que o efeito destes elementos em conjunto foi menor que o de cada um deles em separado.

Houve ainda efeito positivo e significativo da interação PCa ou KM no peso e tamanho dos nódulos, indicando um efeito maior destes elementos juntos que o obtido com os mesmos separadamente.

Stylosanthes gracilis

No Quadro 7 mostram-se, em médias de três repetições, os resultados das várias determinações feitas no experimento com *S. gracilis* e no Quadro 8, os efeitos pesquisados na análise estatística com suas significâncias.

Houve efeito significativo do fósforo em todas as determinações à exceção do peso seco de 100 nódulos. Tais efeitos foram todos positivos, à exceção da % de N, que apresentou valor negativo tal como na soja perene.

QUADRO 7. Resultados do pH do solo, produção de matéria verde e seca, nodulação e nitrogênio na *S. gracilis* (médias de três repetições)

Treat.	pH solo	Peso verde p/aérea (g/pote)	Peso seco p/aérea (g/pote)	Peso seco raiz (g/pote)	Peso seco total (g/pote)	N.º nódulos	Peso seco nódulos (mg/pote)	Peso seco 100 nód. (mg/pote)	% N	N total (mg/pote)
PK	5,3	19,3	4,1	0,7	4,8	18	4	23	2,12	100
PCa	6,5	17,2	3,6	0,5	4,1	66	13	23	2,47	99
PM	5,5	18,6	3,7	0,4	4,1	28	5	47	2,63	109
KCa	6,3	10,4	1,6	0,2	1,8	12	3	72	3,10	56
KM	4,9	14,4	2,3	0,3	2,6	20	5	49	3,15	82
CaM	5,9	11,4	1,9	0,2	2,1	12	1	11	3,23	68
PKCaM	6,3	20,2	4,0	0,4	4,4	21	4	21	2,50	111
T	5,3	11,0	1,9	0,3	2,2	0	0	0	2,82	63

QUADRO 8. *S. gracilis*: efeitos significativos indicados pela análise de variância como fatorial fracionado + PKCaM*

Efeitos	pH solo	Peso verde p/aérea	Peso seco p/aérea	Peso seco raiz	Peso seco total	N.º nódulos ^b	Peso seco nódulos ^b	Peso seco 100 nód. ^b	% N	N total
P	3,8**	84,0**	22,8**	3,1**	25,0**	28,95**	11,06*	11,61	-7,73**	454**
K	-1,0	18,8*	2,4	0,7	3,1	-0,87	0,72	21,07	-0,85	32
Ca	12,0**	-12,4	-3,0	-1,1	-4,1	10,39	2,92	1,08	1,75	-60
M	-2,4*	20,0*	2,6	-1,1	1,5	3,89	-0,22	9,43	2,89*	138*
PK ₂ ou CaM	-1,4	4,2	2,2	0,7	2,9	-18,31	-9,28*	-32,11*	-1,99	-10
PCa ou KM	0,0	9,4	1,6	-0,3	1,3	6,51	3,38	-11,41	-0,39	70
PM ou KCa	2,0	-6,2	-2,0	-0,7	-2,7	-17,79	-6,52	-1,79	0,25	-28
C.V. (%)	3,82	9,18	13,84	36,28	14,93	48,60	41,11	61,90	8,41	13,74

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

^b Dados transformados em $\sqrt{n+1}$.

O potássio aumentou significativamente o peso verde da parte aérea e o cálcio + magnésio só teve efeito significativo no pH do solo.

Os micronutrientes provocaram aumento no peso verde da parte aérea, na % de N e no N total, ao mesmo tempo que diminuíram o pH do solo. Tal como ocorreu com o siratro, o cálcio + magnésio e os micronutrientes não tiveram efeito na nodulação.

Quagliato e Jones (1965), trabalhando com oito leguminosas em latossolo vermelho, obtiveram para a *S. gracilis* decréscimos na produção de matéria seca quando foi omitido o potássio, o fósforo, o enxofre, a calagem ou micronutrientes.

As interações significativas e negativas PK ou CaM para peso seco de nódulos e peso seco de 100 nódulos indicam que estes elementos, em conjunto, são mais prejudiciais que quando aplicados separadamente.

CONCLUSÕES

A leguminosa que apresentou maior produção de matéria verde e seca, bem como melhor nodulação e teores mais altos de nitrogênio, foi o siratro. Em seguida vem o estilosantes e por fim a soja perene. As três leguminosas reagiram diferentemente aos adubos, o que vem mais uma vez justificar experimentos que visem a estudar qual a que mais se adapta a determinada região e quais os fatores nutricionais que limitam o seu desenvolvimento.

O fósforo aumentou a produção de matéria verde e seca, a nodulação e o N total das três leguminosas. Aumentou o N percentual do siratro e diminuiu o da soja perene e do estilosantes. Isto nos parece mais um fator favorável ao siratro, pois ao se aplicar fósforo obtêm-se plantas com maior valor nutritivo.

O potássio aumentou a produção de matéria verde do estilosantes. Na soja perene, aumentou o número e o peso seco de nódulos e diminuiu o N percentual.

O cálcio + magnésio aumentou o N percentual do siratro e o N total da soja perene.

Os micronutrientes (B, Mo, Fe, Cu e Zn) aumentaram a produção de matéria verde e seca, o número e peso seco dos nódulos e o N total da soja perene. Para o siratro houve aumento do peso verde e seco da parte aérea e do N percentual, ao passo que no estilo-

santes o aumento foi no peso verde da parte aérea, no N percentual e N total.

Com relação à comparação dos três esquemas usados na análise dos dados da soja perene, conclui-se que é possível utilizar qualquer dos dois fracionados em substituição ao fatorial completo 2², já que os mesmos, além da redução do número de tratamentos à metade, com economia de área, mão-de-obra e material, permitem avaliar satisfatoriamente os efeitos simples e as interações de 1.^a ordem.

REFERÊNCIAS

- Andrew, C.S. & Robins, M.F. 1969a. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus. Aust. J. agric. Res. 20:665-674.
- Andrew, C.S. & Robins, M.F. 1969b. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. II. Nitrogen, calcium, magnesium, potassium, and sodium contents. Aust. J. agric. Res. 20:675-685.
- Cockran, W.G. & Cox, G.M. 1958. Experimental designs. J. Wiley, New York, p. 189-199.
- Eira, P.A. da, Ruschel, A.P., Britto, D.P.P. de S., Miller, S.F. & Bauwin, G.R. 1969. Estudo da fertilidade de um solo de campo cerrado. XII Congr. Bras. Cienc. Solo, Curitiba, Paraná.
- França, G.E. de & Carvalho, M.M. de 1970. Ensaio exploratório de fertilização de cinco leguminosas tropicais em um solo de cerrado. Pesq. agropec. bras., 5:147-153.
- Freitas, L.M.M. de, McClung, A.C. & Lott, W.L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian campos cerrados 1958-1959. Bolm 21 IBEC Res. Inst., Matão, S. Paulo, p. 5-26.
- Gartner, B.J.A. 1965. Progress notes on Atherton pastures. Qd Dep. Prim. Industr. 10 p.
- Jones, M.B., Quagliato, J.L. & Freitas, L.M.M. de 1970. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais a aplicações de nutrientes minerais, em três solos de campo cerrado. Pesq. agropec. bras. 5:209-214.
- Jones, M.B. & Freitas, L.M.M. de 1970. Resposta de quatro leguminosas tropicais a fósforo, potássio e cálcio num latossolo vermelho-amarelo de campo cerrado. Pesq. agropec. bras. 5:91-99.
- McClung, A.C., Freitas, L.M.M. de, Gallo, J.R., Quinn, L.R. & Mott, G.O. 1958. Preliminary fertility studies on "campos cerrados" soils in Brazil. Bolm 13 IBEC Res. Inst., Matão, S. Paulo. 20 p.
- Mikkelsen, D.S., Freitas, L.M.M. de & McClung, A.C. 1963. Efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. Bolm 29 IBEC Res. Inst., Matão, S. Paulo. 48 p.
- Mulder, E.G. 1948. Investigations of the nitrogen nutrition of Pea plants. Pl. Soil 1(2):179-212.

- Pedreira, J.V.S. 1969. Adubação de leguminosas — Resultados de alguns ensaios. I. Enc. Téc. Região Centro-Sul. Discussão de Problemas Relacionados às Leguminosas Forrageiras. Campinas, S. Paulo.
- Quagliato, J.L. & Jones, M.B. 1965. Comparação entre oito leguminosas sob oito tratamentos de fertilização em solo de campo cerrado. Terminal Report IRI Res. Inst. USAID Contract S. Paulo. (Citado por Pedreira 1969).
- Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1968. Efeito do fósforo, temperatura e umidade do solo na nodulação e no desenvolvimento de duas variedades de soja (*Glycine javanica* L.). Pesq. agropec. bras. 3:215-221.
- Souto, S.M. 1969. Estabelecimento de leguminosas forrageiras tropicais numa região da Baixada Fluminense. I. Enc. Téc. Região Centro-Sul. Discussão Problemas Relacionados às Leguminosas Forrageiras. Campinas, S. Paulo.
- Truong, N.V., Andrew, C.S. & Skerman, P.J. 1967. Responses by siratro (*Phaseolus atropurpureus*) and white clover (*Trifolium repens*) to nutrients on solodic soils at Beaudesert, Queensland. Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb. 7:232-236.
- Wayne, J.M. & De Bruyn, J.A. 1956. Calcium-Boron relationships in Siberian Millet. Soil Sci. 81:301-310.

ABSTRACT.- Eira, P.A. da, Almeida, D.L. de & Silva, W.C. e 1972. *Nutritional factors limiting legume growth in a red-yellow podzolic soil.* Pesq. agropec. bras., Sér. Agron., 7:185-192. (Inst. Pesq. Agropec. Centro-Sul, Km 47, Rio de Janeiro, GB ZC-26, Brazil)

In a greenhouse experiment fertility limitations of a red yellow podzolic soil were studied with three tropical forage legumes (*Phaseolus atropurpureus* D.C., *Glycine javanica* and *Stylosanthes gracilis*). For *Glycine javanica* a 2⁴ complete factorial design was used and for the two other legumes an incomplete factorial (+ PKCaM) with half the treatments necessary for the complete design. In the statistical analysis the data of *G. javanica* were analyzed as a complete factorial 2⁴ and also as two incomplete blocks (+ PKCaM and - PKCaM). The two other legumes were analyzed only as incomplete factorials.

The legume which showed the highest forage yield, best nodulation and highest protein content was *Phaseolus atropurpureus*, *S. gracilis* being intermediate and *G. javanica* the poorest of the three. The three legumes gave varying responses, confirming the importance of performing such experiments with several species. Phosphorus increased green and dry matter, nodulation and total nitrogen of all three legumes. Nitrogen percentage, however, was increased by phosphorus in *P. atropurpureus*, and decreased in the two other legumes. This seems to be another factor favoring the selection of the first of the legumes. Potassium increased the green matter of *S. gracilis* and nodule number and weight in *G. javanica*, while nitrogen percentage was reduced in the latter legume. Lime increased the nitrogen percentage of *P. atropurpureus*, and the total nitrogen of *G. javanica*. The mixture of minor elements (B, Mo, Fe, Cu, Zn) increased green and dry matter, nodule number and weight and total nitrogen in *G. javanica*. In *P. atropurpureus*, the minor elements increased green and dry matter and nitrogen percentage while in *S. gracilis* dry matter, and percentage and total nitrogen were increased.

Comparing the three experimental designs used for *G. javanica* it became evident that both incomplete factorials were able to substitute for the complete factorial design.