

EFEITOS DA NUTRIÇÃO MINERAL SOBRE O CRESCIMENTO,
ASPECTO, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E FIXAÇÃO
DE NITROGÊNIO EM *Azolla* *

E. MALAVOLTA **	W.R. ACCORSI ***
A.P. RUSCHEL ****	M.A.A. BARROS ***
A.A. MEDEIROS *****	A.C. DA SILVA *****
C.L. VEIGA *****	J.G. CARVALHO *****
A.C. STURION *****	A.F.J. BELLOTE *****
F.J. KRUG *****	J.M. CARRIEL *****
L.A. ESCOBAR *****	R.N. GERALDI *****
L. IGARASHI *****	I. EIMORI *****

RESUMO

Azolla filiculoides Lam foi cultivado em solução nutritiva arejada, sempre desprovida de N combinado, sendo submetida aos seguintes tratamentos: omissão de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo, excesso de Mn e Al. As plantas foram colhidas depois de 3 semanas da inoculação. Verificou-se que as deficiências de P, K, Ca e Mg provocaram diminuição na produção de matéria seca e na atividade de nitrogenase. A análise mineral mostrou

* Recebido em 19/09/1978.

Com ajuda da CNEN, BNDE e FAPESP.

** Departamento de Química e CENA, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

*** Dep. de Botânica, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

**** Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA.

***** Estudantes de pós graduação.

***** Bolsistas de iniciação científica.

que: a falta de um elemento provoca redução no seu teor; grande acúmulo de Mo; diminuição no teor de Al (do inóculo ou contaminação) no tratamento menos S que garantiu o maior crescimento; efeitos inibitórios ou sinérgicos semelhantes aos descritos no caso de plantas superiores. A toxidez de Al e Mn causou, principalmente a primeira, redução no crescimento e na atividade da nitrificação. Houve correlações positivas entre: N total e crescimento, atividade de nitrificação e N total.

INTRODUÇÃO

Azolla, sp. família Salviniaceae, é um feto-aquático de distribuição mundial, porém é mais abundante e espalhado nos trópicos. Cresce muito rapidamente na superfície de lagos e canais de irrigação, produzindo uma fina massa de vegetação. Os indivíduos constam de rizomas que podem atingir até 5 cm de comprimento; são cobertos por duas ordens de pequenas folhas densamente imbricadas e papilosas. Na face inferior, submersa, os rizomas produzem raízes adventícias não ramificadas de forma cilíndrica.

As folhinhas tem um lobo dorsal superior espesso, aéreo e verde; o ventral é submerso e quase desprovido de coloração.

No parênquima clorofilado do lobo dorsal há uma câmara em que vive *Anabaena azollae*, alga-azul verde família Nostocaceae, fixadora de N₂.

O uso dessa associação *Azolla*-*Anabaena azollae* como melhorador da fertilidade do solo tem sido citado por vários autores (MOORE, 1969; BECKING, 1976; IRRI, 1976; BOND, 1978).

Plantações de arroz podem crescer sem nenhum

nitrogênio além daquele fixado do ar pelas algas associadas. Os compostos nitrogenados formados pelas células das algas são liberadas no substrato ao redor ou após a morte e decomposição. Uma camada de *Azolla* sp. em crescimento representa portanto, um contínuo suprimento de nitrogênio do solo (SHIELDS & DURREL, 1964). Em condições de casa de vegetação, *Azolla* cultivado em solução nutritiva mostrou-se capaz de fixar o equivalente a 425 kg de N/ha por ano (E. MALAVOLTA, não publicado).

Vários autores tem estudado o potencial de fixação de nitrogênio dessa associação (PETERS, 1977; NUTMAN, 1971; VENKATARAMAN, 1961). O método mais utilizado para medir essa capacidade de fixação de nitrogênio baseia-se na propriedade dessas algas de reduzir acetileno a etileno que foi demonstrado primeiramente por STEWART *et al.* (1967).

Existem poucos estudos sobre a nutrição mineral de *Azolla*. WATANABE *et al.* (1977) estudaram as necessidades minerais de *Azolla* em soluções deficientes de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e uma solução com 40 ppm de N como nitrato de amônio. Todos os elementos deficientes afetaram a produção.

No presente experimento se procurou: (1) verificar o efeito de deficiência e excessos minerais no crescimento e aspecto de *Azolla filiculoides*; (2) verificar o efeito das deficiências e excessos minerais na fixação do N₂; (3) verificar o efeito das deficiências e excessos minerais na composição química de *Azolla*.

MATERIAL E MÉTODOS

O inóculo foi obtido originalmente na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Jaboticabal, em um tanque de criação de peixes, por gentileza do Eng^o Agr^o R. Pitelli.

Para verificar o efeito de deficiências e excessos minerais no crescimento e aspecto de *Azolla filiculoides* Lam, foi feito o cultivo em solução nutritiva em bandejas de plástico translúcido (25 x 30 x 5 cm) constantemente arejada.

Os tratamentos, citados na Tabela 1, foram feitos em duas repetições.

O cultivo foi feito transferindo-se um inóculo de cerca de 5 ml (material úmido) para as bandejas com solução nutritiva.

Após 20 dias de cultivo foram feitas as seguintes determinações:

a. atividade da nitrogenase: determinada com quatro repetições pelo método de redução do acetileno e etileno e dosagem do último por cromatografia de gás;

b. matéria seca: determinada colhendo-se o material desenvolvido na metade da área da bandeja.

c. descrição dos sintomas de deficiência e toxicidade;

d. teores de N, P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Al: determinados no Departamento de Química Analítica do CENA, ESALQ, USP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Sintomas de carência e de excesso

- Tratamento completo

A coloração predominante nas plantinhas é o verde-musgo. Contudo, nota-se, na mesma plantinha, variações na intensidade dessa coloração, segundo a posição que as folhinhas ocupam nos raminhos.

Observa-se ainda, plântulas, cujas folhas se mostram retorcidas e pardacentas. Entretanto, nas plântulas mais viçosas e mais verdes que as outras, as extremidades dos delicados raminhos são esbranquiçadas e um tanto recurvadas para cima.

A intensidade da coloração verde das folhinhas, depende, além da clorofila, da quantidade de indivíduos de *Anabaena azollae* contidos na câmara os quais possuem ficocianina.

Nas folhinhas de coloração pardacenta, percebe-se a localização da câmara com a *Anabaena azollae* devido à cor escura que ela apresenta.

As raízes são cilíndricas, de coloração marrom, providas de coifa e de pelos absorventes, em vários estágios de crescimento; os mais novos são claviformes e os adultos cilíndricos.

- Carência de Potássio

Plântulas reduzidas no tamanho, em confronto com as testemunhas, e, conseqüentemente, seus raminhos são mais curtos e suas folhinhas menores. Poucas plântulas com coloração verde-claro, as demais de coloração pardo-esbranquiçado. Na mesma plântula, há variações na intensidade do verde, de acordo com a posição das folhinhas nos raminhos. Algumas plântulas estão com suas folhinhas totalmente pardacentas e um tanto retorcidas, tudo indicando fase final dos sintomas de carência.

A câmara com *Anabaena azollae* localizada na face inferior, é de cor verde-escuro. Parece ser menor que a câmara das testemunhas já nas folhinhas mortas, a câmara é de cor escura.

As raízes são de cor pardo-escuro.

- Carência de Enxofre

As folhinhas são afetadas pela carência de enxofre, situadas normalmente na extremidade dos raminhos são de cor verde-musgo. Observa-se um processo clorótico, que se intensifica nas folhinhas mais distantes das extremidades dos raminhos, de coloração que vai do amarelo âmbar ao amarelo-citrino.

As raízes são de cor pardo-claro.

- Carência de Cálcio

Plantinhas com bom desenvolvimento vegetativo e com aspecto normal. A cor predominante é o verde-musgo, todavia, em muitas plantinhas notam-se folhinhas de um verde mais claro. Em algumas ocorrem folhinhas de coloração pardacenta. Raízes mais claras, mais finas e mais curtas que as das testemunhas.

- Carência de Fósforo

Entre as plantinhas, muitas conservam seu aspecto normal e as folhinhas de um verde-glaucó. Em outras, as folhinhas já são cloróticas, em diversos graus, notadamente as mais afastadas das extremidades dos raminhos. Com a progressão dos sintomas, os raminhos definham e se separam facilmente dos outros e as folhinhas totalmente contraídas, enrugadas e de cor pardo-claro. As folhinhas ainda verdes não mostram a coloração mais intensa na área da câmara. Nas folhinhas cloróticas, mas ainda não recurvadas, a área da câmara é mais escura.

Raízes bem mais numerosas do que nos outros tratamentos. São longas, finas, de cor pardo-escuro e facilmente destacáveis.

- Carência de Magnésio

Plantinhas de aparência normal, e com o mesmo desenvolvimento vegetativo. Predomina a cor verde-cana, todavia em uma ou outra plantinha, notam-se algumas folhinhas, de um verde mais claro e, raramente, algumas com sintomas cloróticos.

A área da câmara com *Anabaena azollae* é de cor verde-azulada. Praticamente, as raízes desprenderam-se dos raminhos, permanecendo soltas na solução. São de cor parda, não muito longas e finas.

- Carência de Ferro

Plantinhas com desenvolvimento aparentemente normal. Raminhos dicotômicos com folhinhas dispostas de maneira imbricada. Coloração verde normal para a espécie, ou seja, de um verde cana. Raízes filamentosas, coloração clara (esbranquiçada), com comprimento normal.

Examinada a plantinha por sua face inferior revela cor verde mais clara que a superior.

As folhinhas examinadas ao binocular, mostram os dois lobos e o superior a bolsa contendo em seu interior filamentos de *Anabaena azollae*. Examinadas ao microscópio, após compressão da folhinha com uma agulha, a bolsa rompe-se e os filamentos de *Anabaena* são liberados, mostrando-se de aspecto normal e em grande número.

O exame das plantinhas, tanto a olho nú como ao binocular não revelou os sintomas causados pela deficiência de Fe.

- Excesso de Mn

As plantinhas com excesso de Mn apresentam-se de porte aparentemente normal. Notam-se que em alguns raminhos as folhinhas mostram-se com coloração verde-escuro. Em outros, a tonalidade verde é levemente mais clara, havendo ainda outros raminhos cujas folhinhas apresentam-se quase que esbranquiçadas. Em fase mais adiantada as folhinhas mostram sua coloração pardacenta. As raízes das plantinhas onde predomina o verde normal, são abundantes filamentosas longas e claras. Nas partes onde os sintomas são mais intensos as raízes são mais escuras e relativamente mais grossas, chegando a se desprender.

- Excesso de Alumínio

As plantinhas contidas nesse tratamento, quando examinadas e comparadas à testemunha, mostraram alterações referentes ao tamanho, apresentando-se bastante contraídas, conseqüentemente, de menor porte. Quanto à coloração, observa-se que as mesmas são totalmente desprovidas da cor verde, ostentando cor marrom-claro, inclusive suas raízes.

Sob exame microscópico, as folhinhas exibem completa alteração do conteúdo celular; os filamentos de *Anabaena azollae*, liberados por compressão da bolsa da folhinha, mostravam-se também descolorados e suas células separadas.

Apenas como curiosidade, observou-se que certas algas verdes filamentosas, frequentes nas soluções nutritivas, não sofreram a ação do Al, mostrando-se com aparência normal.

- Atividade da nitrogenase

Os resultados da análise de variância para atividade de nitrogenase mostram que a falta ou excesso de determinados elementos afetou a absorção de nitrogênio (Tabelas 2 e 3).

Os tratamentos -Fe e -Mo não diferiram significativamente da testemunha. Segundo BURRIS (1972), Fe⁺ proteína e Fe⁺ Mo proteína são requeridas em combinação para fixação de nitrogênio. Observando-se a Tabela 5, nota-se que os teores de Fe e Mo das plantas que receberam os tratamentos -Fe e -Mo não diferiram significativamente dos teores desses elementos nas plantas que receberam o tratamento completo, sugerindo que as primeiras não estavam realmente deficientes nesses elementos.

De acordo com LEHINGER (1976) o sistema nitrogenase, responsável pela fixação de N₂ atmosférico é um complexo de duas proteínas. Uma delas é a proteína com molibdênio - ferro-enxofre (simbolizada Mo-Fe proteína) que contém 2 átomos de molibdênio, 32 de ferro e 25 a 30 de enxofre ácido-lábil. Dessa maneira, a falta de enxofre diminui a atividade da nitrogenase como foi verificado no ensaio.

Assim se explica de uma maneira bastante simplificada o mecanismo de redução de N₂ atmosférico a NH₄ e se enfatiza a necessidade de P e Mg (POSTGATE, 1974):

um redutor natural como ferroxodina (Fd) doa elétrons à Fe-proteína (Fe) e esta, após a reação com Mg-ATP, reduz a Mo-Fe-proteína, que então reduz o substrato.

Sendo a nitrogenase constituída de proteína e tendo o K um importante papel na síntese de proteína (MALAVOLTA, 1976), a falta de K diminui a redução de N₂.

O papel do Ca na fosforilação fotossintética explica, a sua influência na atividade da nitrogenase pois a mesma requer ATP. BURRIS (1974), verificou que a fixação de N₂ só se dá em presença de luz. O cálcio entra na composição dos cloroplastos que fixam a energia luminosa. Segundo MULDER & BROTONEGRO (1974) o cálcio é necessário para a formação de heterocistos. NEILSON *et alii* (1971) relacionaram formação de heterocistos com síntese de nitrogenase. Dessa forma se explica também a necessidade de cálcio para a atividade da nitrogenase.

O efeito do excesso de manganês inibindo a atividade da nitrogenase pode ser explicado pela sua característica de diminuir a absorção de ferro. E o papel do excesso de Al, por sua vez, pode ser entendido tendo presente sua influência na formação e funcionamento de membranas, na absorção de P, Ca e outros elementos e em reações de fosforilação.

- Produção de matéria seca

O efeito das deficiências de P, K, Ca, Mg e S, Fe e Mo e da toxidez de Al e Mn na produção de matéria seca de *Azolla* pode ser visto na Figura 1.

O tratamento -S não afetou significativamente a produção de matéria seca - assim como tratamento -Mo. Pelos dados da Tabela 5, nota-se que o teor de Mo no tratamento -Mo não diferiu do teor no tratamento completo.

Os tratamentos com 0,024, 0,060 e 0,120 ppm de alumínio apresentaram as mais baixas produções de matéria seca, indicando a alta sensibilidade da *Azolla* ao alumínio.

O tratamento -S apresentou a mais alta produção. O menor teor de alumínio no material foi verificado nesse tratamento. De uma certa forma a

omissão de enxofre diminuiu a absorção de alumínio e sendo a *Azolla* bastante sensível a alumínio a sua produção foi aumentada nesse tratamento.

A omissão de Ca, Mg, P e K afetou grandemente o crescimento da *Azolla*. Esse efeito foi verificado também por WATANABE *et alii* (1977).

A omissão de Fe bem como o excesso de Mn também afetaram a produção.

- Composição mineral

A Tabela 5 dá a composição mineral de *Azolla* nos diferentes tratamentos.

- Teor de nitrogênio

Os teores de nitrogênio foram menores nos tratamentos -P, -K, -Ca, -Mg e +Mn onde também se verificou menor atividade de nitrigenase.

- Teor de fósforo

Os teores de fósforo foram aproximadamente os mesmos com exceção dos tratamentos -P onde foi menor e -K que foi maior. Na deficiência de K a respiração aumenta há maior produção de ATP e consequentemente maior necessidade de P.

- Teor de potássio

Os tratamentos -K e -Mg diminuíram sensivelmente o teor de K na *Azolla*. A deficiência de Mg promoveu uma absorção muito maior de Ca que competiu com a absorção de potássio. Os teores de K foram aumentados nos tratamentos -S e +Mn.

- Teores de cálcio

Foi observada uma diminuição nos teores de Ca nos tratamentos -P e -Ca.

A deficiência de K e Mg e presença causaram um aumento no teor de Ca. A interação entre K, Mg e P explica parte desse aumento. O tratamento -P continha menor teor de cálcio na solução (Tabela 1).

- Teores de magnésio

Os teores de magnésio foram aumentados nos tratamentos -K e -Ca explicado pela interação K, Mg e Ca. Houve uma diminuição no tratamento -Mg.

- Teores de enxofre

Foi verificada uma diminuição do teor de S em todos os tratamentos com exceção do tratamento -Ca. O tratamento -Ca continha maior concentração de enxofre na solução.

- Teores de ferro

Os teores de ferro foram sensivelmente maiores nos tratamentos -P e -Mg.

Houve uma diminuição no tratamento -K, -Ca, +Mn.

O efeito do Mn diminuindo o teor de Fe já foi verificado em outras culturas (MALAVOLTA, 1976).

- Teores de manganês

Os teores de manganês aumentaram sensivelmente na presença de Mn e na deficiência de Mg.

O magnésio inibe a formação de quelado manganês - citrato, que é a forma de absorção desse elemento (MALAVOLTA, 1976). Na ausência de magnésio há maior absorção de Mn.

- Teores de zinco

Foi verificado aumento dos teores de zinco nos tratamentos, -P, -K, -Ca, -Mg.

A deficiência de Zn é induzida pelo fosfato (MALAVOLTA, 1976) portanto menores concentrações de fósforo promovem maior absorção de zinco.

- Teores de cobre

Os teores de cobre não foram significativamente afetados pelos tratamentos.

- Teores de alumínio

Houve uma diminuição acentuada no teor de alumínio no tratamento deficiente de enxofre.

- Teores de sódio

Foi verificado um aumento dos teores de sódio nos tratamentos -K, -Ca e -Mg fato este explicado pela presença do mesmo nas soluções desses tratamentos (ver Tabela 1).

- Correlações

A relação entre produção de matéria seca e atividade de nitrogenase mostrados na Figura 2, indicam uma correlação entre os parâmetros observados.

Foi observada também uma correlação entre teores de nitrogênio e produção de matéria seca (Figura 3).

CONCLUSÕES

Azolla filiculoides Lam foi cultivada em solução nutritiva para verificar o efeito de deficiências e excessos minerais no seu crescimento, aspecto, fixação de N_2 e composição química. Os tratamentos constaram de omissão de P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mo e excesso de Mn e Al.

A deficiência de P, K, Ca e Mg - bem como o excesso de Mn diminuiu a produção de matéria seca e a atividade da nitrogenase.

A deficiência de fósforo provocou um aumento na absorção de ferro e zinco. A deficiência de K aumentou os teores de fósforo. A deficiência de magnésio diminuiu a absorção de K e aumentou a Ca, Fe e Mn.

A deficiência de enxofre diminuiu a absorção de alumínio e promoveu a maior produção de matéria seca. Foram encontradas correlações positivas entre N fixado e produção de matéria seca e entre atividade de nitrogenase e N fixado.

SUMMARY

EFFECTS ON THE MINERAL NUTRITION ON GROWTH, MORPHOLOGY, COMPOSITION AND NITROGEN FIXATION OF *Azolla*.

The mineral nutrition of *Azolla feliculoides* Lam was studied in solutions deficient in phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron and molybdenum, and in excess of Mn and Al. Dry weight, N₂ fixation and mineral composition of *Azolla* were determined after 3 weeks.

Phosphorus, potassium, calcium and magnesium deficiencies and excess of manganese and aluminium depressed growth severely and also depressed the activity of nitrogenase.

Phosphorus deficiency improved the uptake of iron and zinc. Potassium deficiency increased the levels of phosphorus in dry matter.

Magnesium deficiency caused lower uptake of K and better uptake of Ca, Fe and Mn.

Sulfur deficiency reduced aluminium uptake and promoted the best growth.

Positive correlations were found between: N content and dry matter, nitrogenase activity and N content.

LITERATURA CITADA

BECKING, J.H., 1976. Nitrogen fixation in some natural ecosystems in Indonesia. In: Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants (Nutman, P.S., Editor) International Biological Programme n^o 7, 539-550. Institute for Atomic Science in Agriculture.

BONDE, G., 1968. Some biological aspects of nitrogen fixation. In: Recent aspects of nitrogen metabolism in Plant (HEWITT, E.J. and C.V. CUTTING, editores) Academic Press. London. 15-25.

- BURRIS, R.H., 1972. Nitrogen fixation assay methods techniques. *Methods in Enzymology*, New York, 24: 415-431.
- BURRIS, R.H., 1974. Methodology. In: *The biology of nitrogen fixation* (A. Quispel, editor). North Holland Publishing Company Amsterdam.
- IRRI - International Rigg Research Institute, Soil Fertility Management Section. *Biological fixation in rice field. Annual report for 1976.* IRRI. Los Baños, Philippine.
- LEHNINGER, A.L., 1976. *Biochemistry.* Worth Publishers, Inc.
- MALAVOLTA, E., 1976. *Manual de Química Agrícola.* Editora Agronômica Ceres Ltda. S. Paulo.
- MOORE, A.W., 1969. *Azolla. Biology and agronomic significance* Bot. Rev. 35: 17-34.
- MULDER, E.G.; BROTONEGRO, S., 1974. Free living heterotroph heterotrophic bacteria. In: *The biology of nitrogen fixation* (A. Quispel, editor) - North Holnad Publishing Company, Amsterdam.
- NEILSON, A.; RIPPKA; KUNISAWA, R., 1971. Heterocyst formation and nitrogenase synthesis in *Anabaena* sp. *Archiv. Mikrobiol.* 17: 139-150.
- NFSA - THE NATIONAL SOLUTIONS ASSOCIATIONS, 1971. *Micronutrients. A new dimension in agriculture* National Fertilizer solutions Association - Illinois.
- NUTMAN, P.S., 1971. *Perspective in Biological nitrogen fixation* Sc. Porg. Oxf. 59: 55-74.
- PETERS, G.A.; TOIA JR., R.E.; LOUGH, S.M., 1977. *Azolla - Anabaena azolae* relationships. V. $^{15}\text{N}_2$ fixation, acetylene reduction and H_2 production. *Plant Physiol.* 59: 1021-1025.

- POSTGATE, J., 1974. Pre requisites for biological nitrogen fixation in free living heterotrophic bacteria. In: The biology of nitrogen fixation (A. Quispel, editor). North Holand Publishing Company, Amsterdam.
- STEWART, T.W.D.P.; FITZGERALD, G.P.; BURRIS, R.H., 1967. Acetylene Reduction by nitrogen-fixing blue green algae. *Archiv fur Mikrobiologie* 62: 336-348.
- VENKATARAMAN, G.S., 1961. Studies on nitrogen fixation by blue green algae. III Nitrogen fixation by anabaena azollae. *Indian Journal of Agricultural Science*. 32: 22-23.
- WATANABE, I.; ESPINAS, C.R.; ERJA, N.S.B.; ALIMASNO, V.B., 1977. The utilization of the Azolla. Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Tabela 1 - Tratamentos, nutrição mineral de *Azolla* (ml/l).

Solução	Cplto	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Fe	-Mo	+Al	+Mn
K_2SO_4 0,5 M	5	5	-	5	5	-	5	5	5	5
$MgSO_4$ M	2	2	2	2	-	-	2	2	2	2
$Ca(H_2PO_4)_2$ 0,05 M	10	-	10	-	10	10	10	10	10	10
$CaSO_4$ 0,01 M	200	200	200	-	200	-	200	200	200	200
Fe DTA	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1
Solução a	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1
Na_2SO_4 0,5 M	-	-	5	5	4	-	-	-	-	-
KN_2PO_4 M	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
KCl 0,5 M	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-
$MgCl_2$ M	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Solução a - Mo	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Solução Al (1)	-	-	-	-	-	-	-	(2,5 (1	-	-
Solução Mn (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50

(1) 24 ppm Al

(2) 1,8 g $MnCl_2 \cdot 4 H_2O/l$.

Tabela 2 - Análise de variância do efeito da nutrição mineral na atividade de nitrogenase em *Azolla*.

Causas de variação	Graus de Liberdade	SQ	QM	F
Tratamento	8	717426,709	89678,338	15,457**
Resíduo	27	156642,066	5801,558	
Total	35	877068,775		

Tabela 3 - Atividade da nitrogenase em ng de N/g matéria seca/hora (média de 4 determinações) de *Azolla*.

Tratamento	Atividade de Nitrogenase
Completo	388,712 a
- Mo	381,137 a
- Fe	335,347 a b
- S	194,050 b c
+ Mn	179,535 b c
- P	58,420 c
- Ca	56,657 c
- K	52,250 c
- Mg	21,922 c
DMS (5%)	181,276

OBS.: As médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Efeito da nutrição mineral na produção de matéria sêca de *Azolla* (média de duas repetições).

Tratamento	g m.s./bandeja
Completo	1,9981
- S	2,4937
- Mo	1,8476
- Fe	1,2792
+ Mn	1,0394
- Ca	0,9834
- P	0,6310
- K	0,4052
- Mg	0,1699
+ Al (0,024 ppm)	0,4050
+ Al (0,060 ppm)	0,0740
+ Al (0,120 ppm)	0,0540

Tabela 5 - Teores total de Macro e Micronutrientes em Azolla.

Tratamento	% ppm													
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Al	Na	Mo	B
Completo	5,55	1,23	5,54	0,33	0,24	1,73	843	23	56	17	248	93	9,0	2,5
-P	3,55	0,10	3,41	0,27	0,22	0,97	2029	23	99	22	163	165	-	-
-K	4,23	2,04	0,07	0,63	0,55	1,47	700	38	101	29	268	1220	-	-
-Ca	3,65	1,28	5,32	0,25	0,30	1,87	653	27	88	17	182	1400	-	-
-Mg	4,30	1,23	2,55	1,33	0,10	0,85	3,038	89	102	22	362	657	-	-
-S	5,30	1,12	7,07	0,35	0,29	0,47	797	27	49	17	<25	120	7,1	-
-Fe	5,05	1,05	4,63	0,37	0,22	1,47	796	21	62	22	176	107	-	-
-Mo	5,50	1,11	5,03	0,37	0,20	1,42	771	27	81	22	179	93	6,9	-
+Mn	4,83	1,20	7,02	0,43	0,26	1,05	700	314	66	19	217	151	-	-

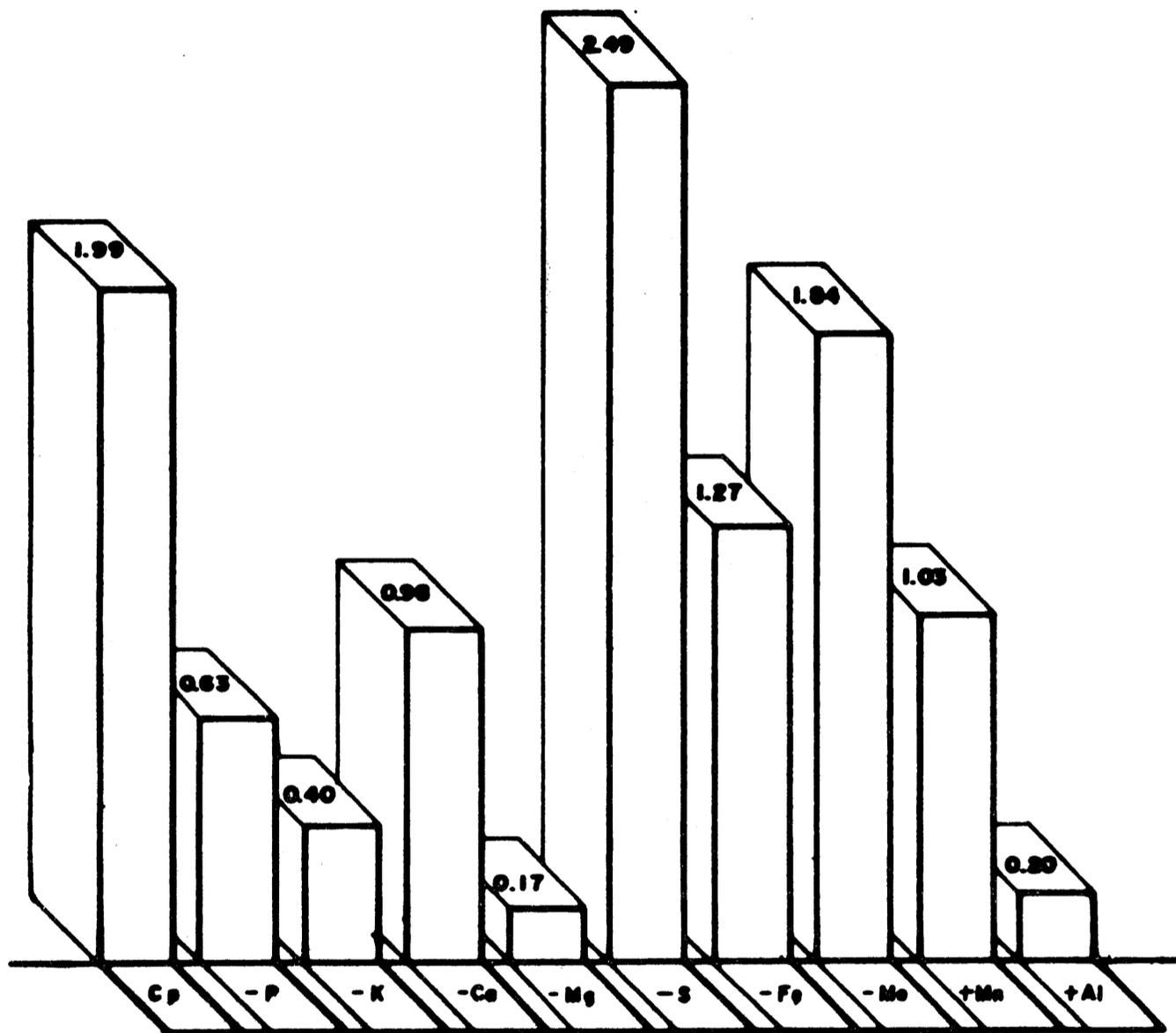


Figura 1 - Produção de matéria seca de *Azolla* em condições de deficiências ou excessos minerais.

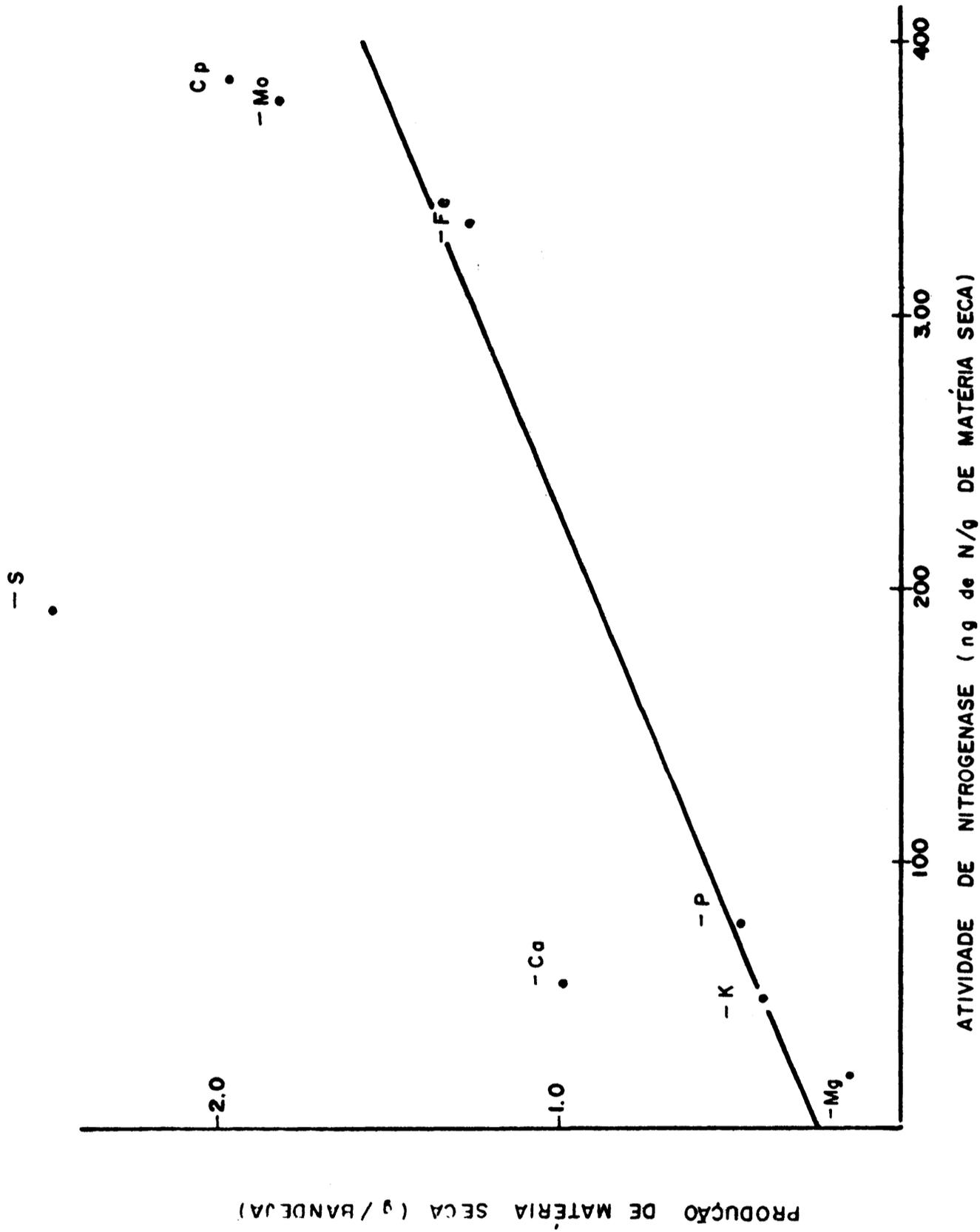


Figura 2 - Correlação entre atividade de nitrogenase e produção de matéria seca de *Azolla*.

$$Y = 0,3498 + 0,003745 X$$

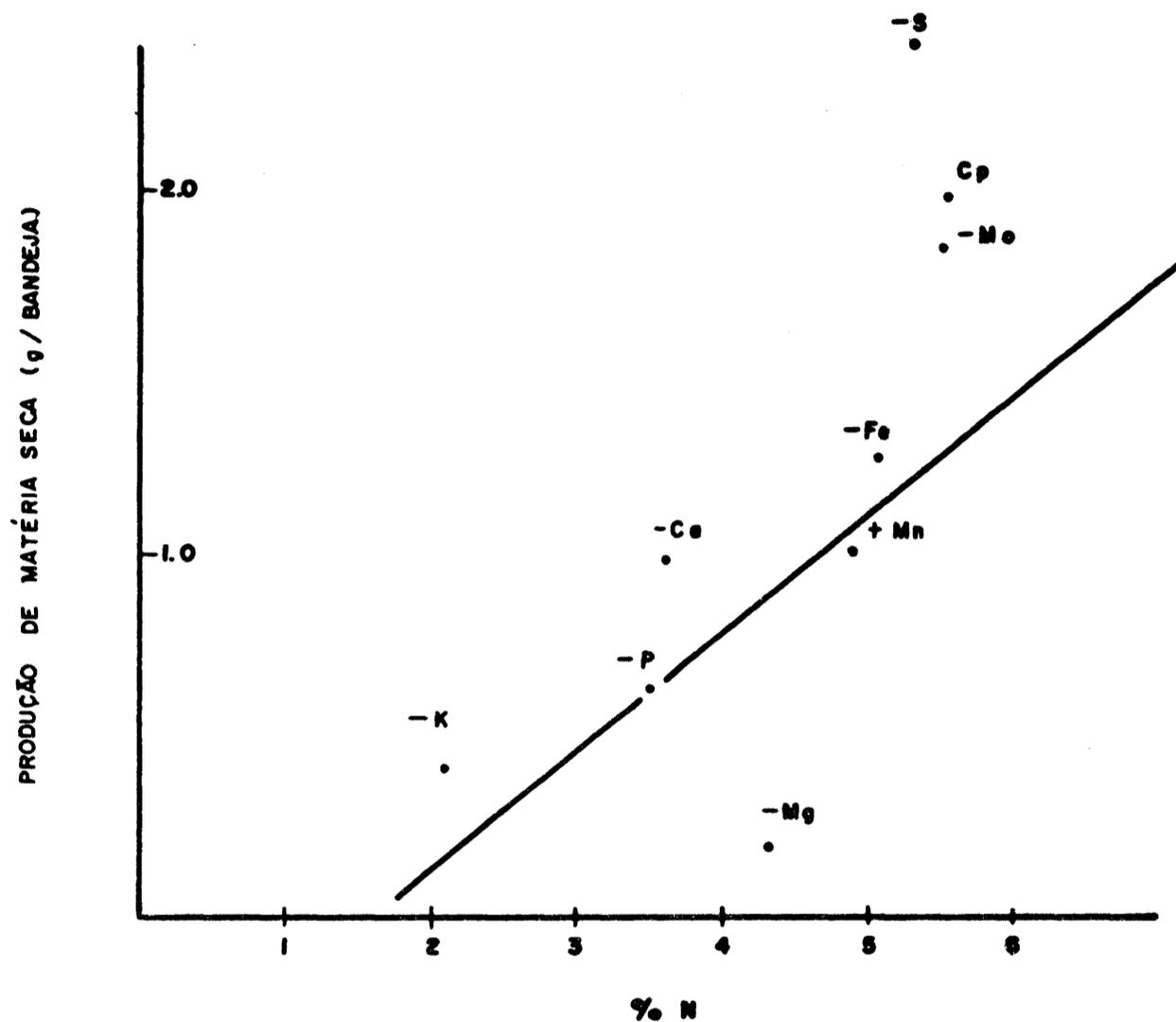


Figura 3 - Correlação entre produção de matéria seca de *Azolla* e teor de nitrogênio.

$$Y = 0,7521 X - 2,2873$$

$$r = 0,7232$$

