

NÍVEIS ÓTIMOS DE NPK NA ADUBAÇÃO DE ARROZ IRRIGADO
DO EM SOLOS DE VÁRZEA DA ZONA DA MATA, MINAS
GERAIS*

Roberto Ferreira de Novais
José Mário Braga
Braz Vitor Defelipo
Carlos Magno Fajardo
Flávio A. Lopes Amaral**

1. INTRODUÇÃO

Em algumas regiões da Zona da Mata, o arroz é cultivado em solos de várzea, em condições de irrigação por inundação.

Embora no cultivo irrigado sejam obtidos rendimentos bem superiores aos do cultivo de "sequeiro", o emprego de uma adubação adequada, nesses solos, pode proporcionar, ainda, maiores rendimentos. Contudo, a literatura sobre a adubação de arroz irrigado, neste Estado, é ainda muito escassa.

Diversos resultados experimentais, obtidos principalmente no Vale do Paraíba, em São Paulo e no Rio Grande do Sul, sobre a adubação de arroz irrigado, embora conduzidos com algumas práticas culturais diferentes daquelas aqui utilizadas, podem situar bem os resultados aqui obtidos.

* Trabalho de campo conduzido pela ACAR-MG - Seccional de Muriaé.

Aceito para publicação em 3-1-1972.

**Respectivamente, Auxiliar de Ensino, Professor Adjunto, Professor Assistente da Universidade Federal de Viçosa, Especialista em Culturas da ACAR-MG e Professor Assistente da Universidade Federal de Viçosa.

Experimentos conduzidos no Vale do Paraíba, testando a adubação NPK, apresentaram, de um modo geral, maiores respostas à adubação nitrogenada e à fosfatada (1, 2, 3, 10, 11).

LEITE *et alii* (3), testando o efeito de três níveis de nitrogênio e três de fósforo, calcário e micronutrientes, obtiveram maiores respostas à adubação nitrogenada do que à adubação fosfatada.

Em um experimento onde foram aplicados três níveis de nitrogênio, sendo mantida uma adubação constante de PK, LEITE *et alii* (1) encontraram grande resposta à aplicação nitrogenada em solos de várzea dessa região.

Os resultados experimentais, obtidos por SCHIMIDT e GARGANTINI (10), mostraram grande influência da adubação nitrogenada sobre maior altura das plantas e maior produção de palha e de grãos.

Testando 5 níveis de nitrogênio em solos argilosos e 5 níveis de fósforo em solos orgânicos, LEITE *et alii* (2) encontraram aumentos significativos da produção, provocados tanto pela adubação nitrogenada como pela fosfatada na maioria dos experimentos conduzidos.

Contudo, resultados obtidos por SCHMIDT e GARGANTINI (11), de um experimento conduzido por dois anos, revelaram respostas para a adubação completa com NPK.

Alguns resultados experimentais, obtidos no Rio Grande do Sul, apresentaram melhores respostas à adubação potásica (5, 6, 7), se comparados àqueles obtidos em São Paulo.

Em 12 experimentos, PENNY (7) obteve respostas às aplicações de adubações completas com NPK, embora com melhores resultados para fósforo e para fósforo mais potássio.

Este mesmo pesquisador conclui, após 12 anos de pesquisas, com arroz irrigado, que a adubação ideal é constituída de, apenas, fósforo mais potássio (6).

MURDOCK *et alii* (5), em 10 experimentos testando a adubação NPK, obtiveram, em 9 deles, respostas favoráveis à aplicação de 40 kg de N/ha; em 7 experimentos, respostas favoráveis à aplicação de 40 kg de P₂O₅/ha, e, somente em dois, houve resposta ao potássio.

O presente trabalho tem como objetivo obter informações sobre os níveis ótimos de nitrogênio, fósforo e potássio, para a adubação de arroz irrigado em alguns solos de várzea da Zona da Mata.

2. MATERIAL E MÉTODO

Para o presente trabalho foram conduzidos 14 ensaios de adubação NPK em arroz irrigado, em 1969, na região supervisionada pela Seccional da ACAR de Muriaé. Contudo, foram utilizados somente dados de 10 ensaios que puderam ser agrupados segundo os quadrados médios dos erros e analisados em conjunto (8).

Estes ensaios foram conduzidos nos seguintes municípios: Leopoldina (2 ensaios), Volta Grande (1 ensaio), Além Paraíba (2), Recreio (1), Palma (2), Muriaé (1) e Eugenópolis (1).

Os solos foram caracterizados de acordo com as análises químicas realizadas no Laboratório de Solos da UFV, e os resultados são apresentados no quadro 1.

Para todos os ensaios, o delineamento experimental utilizado foi o fatorial $3 \times 3 \times 3$, com três níveis de nitrogênio, três de fósforo e três de potássio, com uma só repetição e com confundimento de dois graus de liberdade da interação tripla N x P x K (8).

Foram utilizados os níveis 0-60-120 kg/ha para N, P_2O_5 e K_2O , igualmente, nas formas de sulfato de amônio (20% N), superfosfato simples (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O).

As parcelas experimentais foram constituídas de 12 fileiras de 5m de comprimento e 0,25m de espaçamento, tendo sido cada parcela circundada por diques.

Para o plantio foram semeados, em outubro, canteiros para a produção de mudas com o cultivar 'IAC 435', em todos os locais dos ensaios, de onde foram levadas, 30 dias mais tarde, para os ensaios. Foram plantadas 3 a 5 mudas/cova, em um intervalo de 20 cm, após todo o adubo programado para o tratamento ter sido colocado no fundo do sulco de plantio e misturado com terra.

Todos os ensaios receberam irrigação por inundação, com a água entrando na cabeceira da parcela e saindo na extremidade oposta. A irrigação foi iniciada logo após o plantio, permanecendo até 25 dias antes da colheita, aproximadamente. Quando em irrigação, foi mantida uma lâmina d'água de, aproximadamente, 5 a 10 cm inicialmente, sendo elevada até 20 cm, com o desenvolvimento da cultura.

As colheitas, realizadas durante o mês de abril, foram feitas considerando-se toda a área da parcela dentro dos

QUADRO 1 - Análise química dos solos

Características químicas	Locais (****)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH em H ₂ O (1:1)	5,2	5,0	6,0	4,6	5,7	5,2	5,5	5,7	5,4	6,0
Fósforo (P) ppm*	4	27	4	5	11	6	6	2	4	55
Potássio (K) ppm*	68	200	64	108	34	60	64	42	19	144
Ca+Mg - eq. mg/100g*	3,6	2,5	3,8	4,5	1,5	1,5	4,4	2,4	2,3	5,5
Necessid. Calag.*** (t/ha)	3,5	3,0	(***)	3,5	(***)	3,5	(***)	(***)	2,0	(***)

* Extrator: "North Carolina" (0,025 N H₂SO₄ + 0,05 N HCl 1:10)

** Processo de "Woodruff"

(***) Sem necessidade de calagem

(****) Identificação dos locais: 1 e 2 - Leopoldina; 3 - Volta Grande; 4 e 5 - Além Paraíba;

6 - Recreio; 7 e 8 - Palma; 9 - Muriae; 10 - Eugenópolis.

diques, sendo que os resultados foram expressos em kg de arroz em casca/ha.

Para cada elemento, foi ajustada uma equação de regressão, tomando-se as produções médias dos dez locais como funções dos três elementos testados.

Para diferentes níveis de preços de mercado do produto e dos fertilizantes (quadro 2), foi construído um "price map", no qual, para as combinações de preços utilizados, tem-se os níveis ótimos dos elementos que maximizarão os lucros. Estes níveis ótimos foram determinados, obtendo-se a derivada primeira de cada função e igualando-a à relação de preço de kg do elemento fertilizante/preço do kg do produto e resolvendo-se a equação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado de cada um dos ensaios e a média geral de todos eles, em kg de arroz em casca/ha, em resposta aos três níveis dos três elementos testados, é apresentado no quadro 3. No quadro 4, encontram-se os resultados (média dos dez ensaios) de todos os 27 tratamentos aplicados também em kg de arroz em casca/ha.

Pela análise de variância dos dados de produção do agrupamento dos 10 ensaios, verificou-se que as respostas à aplicação dos fertilizantes nitrogenado, fosfatado e potássico foram significativas e sem nenhuma interação significativa entre eles.

Embora as produções dos locais sejam diferentes entre si, com alta significância, não houve nenhuma interação significativa local x elemento fertilizante, mostrando que todos os locais, individualmente, apresentaram respostas semelhantes entre si aos três fertilizantes testados.

Comparando-se as respostas isoladas de cada local (quadro 3) e a análise química de seu solo (quadro 1), observam-se algumas correlações não significativas entre nível do elemento no solo x produção. Alguns locais, como os de número 2, 5 e 10 apresentaram níveis de fósforo disponível acima do nível crítico estabelecido para o estrator usado e, no entanto, apresentaram respostas significativas da cultura à aplicação da adubação fosfatada. No entanto, nos locais 1, 6 e 7 não foram obtidas respostas significativas à aplicação do fertilizante fosfatado, embora os níveis encontrados no solo estivessem abaixo do nível crítico.

QUADRO 2 - Níveis gerais de preços para os fatores (nitrogenio e fósforo) e para o produto

Níveis de Preços	Preços dos fatores Cr\$/kg			Preço do produto Cr\$/ka de arroz em casca
	sulfato de amonio	N	superfosfato simples	
1	0,40	2,00	0,30	1,50
2	0,45	2,25	0,35	1,75
3	0,50	2,50	0,40	2,00
				0,60

QUADRO 3 - Produção de arroz em casca, em kg/ha de cada um dos dez ensaios e da média de todos eles, em resposta à aplicação de NPK

Elementos e níveis	Locais										Média geral (kg/ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nitrogênio (kg de N/ha)											
0	5400	3840	2980	6960	3380	2060	3813	1747	2453	3140	3577
60	5813	3447	3580	7373	3607	2647	3987	1507	2480	3860	3830
120	6140	3600	3120	7273	3620	2667	4427	2067	2247	4000	3916
Fósforo (kg de P₂O₅/ha)											
0	5460	3020	2407	6433	3027	2187	3847	940	2340	3133	3279
60	6113	3780	3560	7567	3627	2460	4027	1913	2493	3813	3935
120	5787	4087	3707	7607	3947	2727	4353	2467	2353	4053	4108
Potássio (kg de K₂O/ha)											
0	5627	3373	2927	6986	3447	2413	4207	1900	2187	2993	3606
60	5480	3847	3467	7493	3760	2380	3820	1747	2220	3620	3783
120	6247	3660	3280	7127	3400	2580	4200	1673	2773	4387	3933
Média	5785	3628	3225	7202	3535	2458	4076	1773	2394	3667	3774

QUADRO 4 - Produção de arroz em casca, média de dez ensaios, em respostas à aplicação de todos os 27 tratamentos com NPK em três níveis (0-60-120 kg/ha) para cada elemento

Tratamento	Produção (kg/ha)	Tratamento	Produção (kg/ha)	Tratamento	Produção (kg/ha)
221	4490	211	4020	101	3477
122	4410	110	3934	102	3437
012	4307	021	3924	010	3377
121	4257	120	3860	201	3320
222	4190	020	3857	002	3247
220	4137	022	3847	100	3227
212	4127	111	3760	200	3153
112	4107	202	3727	001	3097
210	4080	011	3707	000	2832

Para a correlação entre potássio analisado e produção, houve apenas uma discrepância semelhante às ocorridas com o fósforo, no local 10, com 144 ppm de K, nível muito superior ao crítico, e com respostas significativas à aplicação do fertilizante potássico.

Verifica-se que o extrator para "disponível" utilizado ("North Carolina") mostrou-se eficiente para determinação de potássio, mas inadequado para a determinação de fósforo, no tipo de solo utilizado.

Esta falta de correlação para o fósforo se deve, possivelmente, à heterogenidade desses solos de baixada ou mesmo à necessidade de se escolher outro extrator para estes tipos de solos.

É sabido que os solos, temporária ou continuamente inundados, como no caso de solos cultivados com arroz irrigado por inundação, têm condições de redução que podem proporcionar maior liberação do fósforo, através da redução Fe^{+++} a Fe^{++} , liberando-o desta forma e sendo readsorvido em novas formas de maior disponibilidade (4, 9, 12). E a eficiência de um definido extrator para determinar realmente o fósforo "disponível" irá depender das formas de adsorção deste elemento predominantes no solo.

Para o presente trabalho, a produção média dos dez ensaios foi tomada como função do nitrogênio, fósforo e potássio aplicados, obtendo-se duas equações de segundo grau, respectivamente, para nitrogênio e fósforo e uma equação do primeiro grau para potássio. Cada elemento foi analisado isoladamente, visto não ter havido interação significativa entre eles.

As equações obtidas foram as seguintes:

$$\text{Para nitrogênio (N)} : \hat{Y} = 3577 + 5,60833 N - 0,0231944 N^2$$

$$\text{Para fósforo (P}_2\text{O}_5\text{)} : \hat{Y} = 3279 + 14,9583 P - 0,0670833 P^2$$

$$\text{Para potássio (K}_2\text{O)} : \hat{Y} = 3610 + 2,725 K$$

Estas três equações são apresentadas, graficamente, na figura 1.

Pelos ajustamentos obtidos para o nitrogênio e fósforo, as produções físicas máximas são, respectivamente, de 3916 kg de arroz em casca/ha, que pode ser obtida com 120,9 kg de N/ha e de 4112 kg de arroz em casca/ha para uma aplicação de 111,5 kg de P₂O₅/ha.

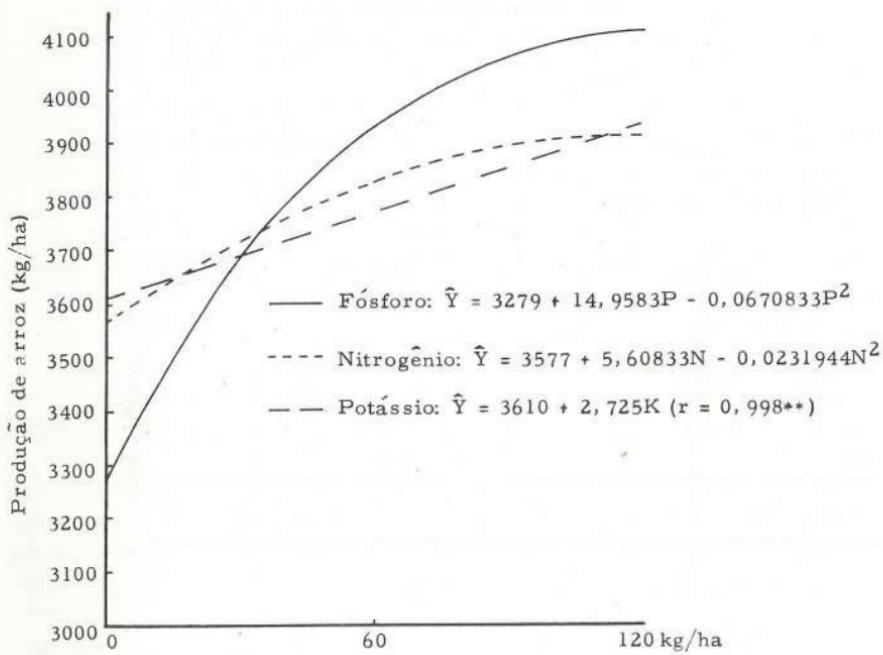


FIGURA 1 - Produção de arroz, em kg/ha, em função de três níveis de nitrogênio (N), de fósforo (P_2O_5) e de potássio (K_2O).

A resposta linear ao potássio não permitiu um estudo sobre a determinação de uma produção máxima ou econômica como consequência de sua aplicação nestes solos. A recomendação de um nível ideal deste elemento foi fixada em 40 kg de K_2O /ha, tomando-se por base os resultados obtidos, bem como outros trabalhos existentes na literatura. A relação ideal entre nitrogênio e fósforo, quanto ao ponto de vista de produção econômica, ficará na dependência de seus preços e do preço do produto.

No quadro 5, é apresentado o "price map" para uma razoável faixa de variação de preços do produto e dos fertilizantes, do qual se podem tirar os níveis ótimos de nitrogênio (N) e de fósforo (P_2O_5), que proporcionarão produções econômicas para as relações de preços obtidos a partir de todas as

QUADRO 5 - "Price map": Relações de preços de kg de N para preço de arroz em casca (PN/PY), de preço de kg de P_2O_5 para preço de kg de arroz em casca (PP_2O_5/PY) que determinam um consumo de N e P_2O_5 , em kg/ha, que proporcionam uma produção econômica

PN PY	PP_2O_5 PY	Níveis ótimos em kg/ha		
		N	P_2O_5	K_2O
6	2, 5	-	92, 8	40
6	3, 0	-	89, 1	40
6	3, 5	-	85, 4	40
6	4, 0	-	81, 7	40
6	4, 5	-	77, 9	40
6	5, 0	-	74, 2	40
5, 5	2, 5	2, 3	92, 8	40
5, 5	3, 0	2, 3	89, 1	40
5, 5	3, 5	2, 3	85, 4	40
5, 5	4, 0	2, 3	81, 7	40
5, 5	4, 5	2, 3	77, 9	40
5, 5	5, 0	2, 3	74, 2	40
5, 0	2, 5	13, 1	92, 8	40
5, 0	3, 0	13, 1	89, 1	40
5, 0	3, 5	13, 1	85, 4	40
5, 0	4, 0	13, 1	81, 7	40
5, 0	4, 5	13, 1	77, 9	40
5, 0	5, 0	13, 1	74, 2	40
4, 5	2, 5	23, 9	92, 8	40
4, 5	3, 0	23, 9	89, 1	40
4, 5	3, 5	23, 9	85, 4	40
4, 5	4, 0	23, 9	81, 7	40
4, 5	4, 5	23, 9	77, 9	40
4, 5	5, 0	23, 9	74, 2	40
4, 0	2, 5	34, 7	92, 8	40
4, 0	3, 0	34, 7	89, 1	40
4, 0	3, 5	34, 7	85, 4	40
4, 0	4, 0	34, 7	81, 7	40
4, 0	4, 5	34, 7	77, 9	40
4, 0	5, 0	34, 7	74, 2	40
3, 5	2, 5	45, 4	92, 8	40
3, 5	3, 0	45, 4	89, 1	40
3, 5	3, 5	45, 4	85, 4	40
3, 5	4, 0	45, 4	81, 7	40
3, 5	4, 5	45, 4	77, 9	40
3, 5	5, 0	45, 4	74, 2	40

combinações possíveis dos três níveis de preços apresentados no quadro 2.

Pelo quadro 5, verifica-se que, dependendo do preço de N (PN), do preço de P_2O_5 (PP₂O₅) e do preço do arroz em casca (PY), tem-se os níveis ótimos dos dois elementos que possibilitam uma produção máxima econômica.

Se os preços dos fertilizantes e do arroz em casca variarem futuramente, provavelmente eles se manterão em relações semelhantes a uma das possíveis combinações existentes no "price map" (quadro 5), obtendo-se, assim, os níveis ótimos para os novos preços.

Se alguma relação não for encontrada no "price map", basta igualá-la à derivada primeira da equação de 2º grau do elemento de que se quer determinar o nível ótimo e resolver a equação.

Pelo quadro 5, verifica-se que para um mesmo preço do produto (PY), quanto maior o preço dos fatores (PN e PP₂O₅), o que corresponderá a maiores relações de preços ($\frac{PN}{PY}$ e $\frac{PP_2O_5}{PY}$) haverá menor consumo de nitrogênio e de fósforo, pa-

ra que a produção seja econômica. Verifica-se, ainda, que quando a relação de preços $\frac{PN}{PY}$ é igual (ou maior) a 5,6, não é econômico aplicar o adubo nitrogenado. Como a resposta a fósforo foi bem maior, sua aplicação é econômica a um nível mais estável, próximo a 80 kg de P₂O₅/ha, para todas as variações de preço das relações $\frac{PP_2O_5}{PY}$ consideradas.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de se obter os níveis ótimos de nitrogênio, fósforo e potássio para o cultivo de arroz irrigado em alguns solos de várzea da Zona da Mata, Minas Gerais, foram conduzidos 10 ensaios fatoriais 3x3x3, com os níveis 0-60-120 kg/ha, igualmente para N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. Todo o fertilizante foi aplicado no sulco de plantio.

O plantio foi feito com mudas em um espaçamento de 25 cm entre fileiras e 20 cm entre covas, com 3 a 5 plantas, durante o mês de outubro.

Toda parcela, circundada por um dique, recebeu irrigação por inundação, iniciada logo após o plantio, permanecendo até 25 dias antes da colheita, aproximadamente.

Foram determinados os níveis ótimos dos nutrientes testados, que maximizam os lucros através de produções econômicas para uma larga faixa de variação de preços dos fertilizantes e do produto, obtendo-se um "price map".

Nas condições do presente trabalho, foram obtidas as seguintes conclusões:

1 - Houve respostas significativas aos três elementos testados, sendo que as melhores produções foram obtidas com as aplicações do fertilizante fosfatado, mostrando ser o fósforo o maior limitante da produção.

2 - Uma pequena resposta à adubação nitrogenada fez com que o nível econômico de N fosse muito dependente do preço deste fator e do preço do produto. Quando o preço do kg de N for igual ou superior a 5,6 vezes o preço do kg de arroz em casca, não será econômico fazer adubação nitrogenada.

3 - A maior resposta à adubação fosfatada fez com que o nível econômico de P_2O_5 fosse muito pouco dependente do preço deste fator e do preço do produto, estando este nível em torno de 80 kg de P_2O_5/ha .

4 - Houve uma resposta linear à aplicação dos três níveis do fertilizante potássico, sendo que o seu nível "ideal" foi fixado em 40 kg de K_2O/ha , baseando-se nos resultados obtidos e em outros trabalhos de adubação de arroz irrigado existentes na literatura.

5. SUMMARY

Ten field trials were conducted to study the optimum levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers for irrigated rice grown on low-land soils of the "Zona da Mata" region of the State of Minas Gerais, Brazil.

The experimental design used in this experiment was a $3 \times 3 \times 3$ factorial. The fertilizers used were ammonium sulfate, ordinary superphosphate and potassium chloride applied at the rates of 0, 60 and 120 kg/ha of N, P_2O_5 and K_2O .

Young rice plants were transplanted with a spacing of

40 cm between rows and 20 cm within rows.

The data of 10 trials were grouped and analysed together.

The optimum levels of N and P₂O₅ which resulted in the best economical production, within a reasonable price range of the fertilizers and rice, were determined.

Under the conditions of this experiment, the following conclusions can be drawn:

1 - All three elements tested gave significant results, but the greatest response was obtained with the application of phosphorus.

2 - Nitrogen fertilization gave a small response with the optimum economic level varying from 0 to 45 kg/ha of N depending on the market price of the nitrogen and rice.

3 - As a result of the greater response to the phosphate fertilizer, the optimum economic level of 80 kg/ha of P₂O₅ was only slightly dependent on the market price of the fertilizer and rice.

4 - The response to potassium was linear for the three levels used. Based on the results obtained in this experiment and those reported in the literature, the optimum level of potassium was 40 kg/ha of K₂O.

6. LITERATURA CITADA

1. LEITE, N., GARGANTINI, H., GOMES, A. G. & IGUE, T. Efeito de diferentes fertilizantes nitrogenados no aumento da produtividade do arroz irrigado. Bragantia, Campinas, 29(24):263-272. 1970.
2. LEITE, N., GARGANTINI, H. & HUNGRIA, L. S. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em cultura de arroz, em condições de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29(11):115-125. 1970.
3. LEITE, N., GARGANTINI, H., HUNGRIA, L. S. & IGUE, T. Efeitos de nitrogênio, fósforo, calcário e micronutrientes em cultura de arroz irrigada no Vale do Paraíba. Bragantia, Campinas, 29(25):273-285. 1970.

4. MANDAL, L. N. & DAS, R. K. Transformation of applied water soluble phosphate in acidic lowland rice soils. Soil Science, Baltimore, 110(4):263-267. 1970.
5. MURDOCK, J., BERNARDES, B., PAVAGEAU, M. & CAL-DEIRA, F. M. Experimentos de adubação de arroz. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 19(224):7-13.
6. PENNY, J. M. Ensaios de adubação: adubos no solo: químicos. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 20(226):26-27. 1966.
7. PENNY, J. M. Ensaios de adubação e adaptação de variedade. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 16(185):9-11. 1962.
8. PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Instituto de Genética, 1960. 229 p.
9. SAVANT, N. K. & ELLIS Jr., R. Changes in redox potencial and phosphorus availability in submerged soil. Soil Science, Baltimore, 98(6):388-394.
10. SCHMIDT, N. C. & GARGANTINI, H. Adubação nitrogenada para arroz em solos argilosos de várzeas. Bragantia, Campinas, 22(28):367-372. 1963.
11. SCHMIDT, N. C., & GARGANTINI, H. Efeito da aplicação de calcário, matéria orgânica e adubos minerais em cultura de arroz, em solo de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29(27):293-308.
12. SHAPIRO, R. E. Effect of flooding on availability of phosphorus and nitrogen. Soil Science, Baltimore, 85(4):190-197. 1958.