

# RESPOSTA E NÍVEIS CRÍTICOS DE POTÁSSIO PARA O ARROZ CULTIVADO EM SOLOS DE VÁRZEA INUNDADOS<sup>1</sup>

## Response and critical levels of potassium for rice cultivated in lowland waterlogged soils

Andrei Rodrigo Cabbau<sup>2</sup>, Valdemar Faquin<sup>3</sup>, Luiz Arnaldo Fernandes<sup>4</sup>  
Alex Teixeira Andrade<sup>5</sup>, Rodrigo Reis de Lima Sobrinho<sup>6</sup>

### RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no período de fevereiro a junho de 2002, com os objetivos de avaliar para o arroz (*Oriza sativa* L. cv. Jequitibá), cultivado em solos de várzea inundados, a resposta à adubação potássica e a contribuição das formas de K na nutrição, e estimar os níveis críticos do nutriente nos solos e na planta. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições, sendo quatro solos de várzea [Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háplico (GX), Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY)] e cinco níveis de saturação por K da CTC potencial (natural, 4, 6, 8 e 10%). As saturações naturais foram de 1,49, 1,65, 1,30 e 1,55% para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente. Inicialmente, amostras suficientes de 4 dm<sup>3</sup> dos solos receberam correção com calcário para elevar a V a 50% e incubados por 30 dias. Em seguida, amostras de 3 dm<sup>3</sup> dos solos receberam os tratamentos com potássio e uma adubação básica com macro e micronutrientes e foram incubados por mais 30 dias em vasos com capacidade para 5 dm<sup>3</sup>. No final desse período, os solos foram inundados onde se cultivaram duas plantas de arroz por vaso, nas quais avaliaram-se os teores foliares de K no florescimento e a produção de grãos no final do ciclo. Em subamostras obtidas dos solos dos vasos antes e após o cultivo, analisaram-se as formas de potássio: K total (K<sub>tot</sub>), K não-trocável (K<sub>nt</sub>), K trocável (K<sub>tr</sub>), K em solução (K<sub>sol</sub>) e K disponível pelo extrator Mehlich 1 (K M1). Pelos resultados, verificou-se que o arroz respondeu em produção de grãos à adubação potássica em todos os solos estudados. Houve aproveitamento do K<sub>nt</sub> pela cultura, embora o K<sub>tr</sub> tenha sido a forma que mais contribuiu no suprimento do nutriente. As saturações críticas por K para 90% da produção máxima foram 4,0, 8,1, 7,8 e 4,4% para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente. Da mesma forma, os níveis críticos foliares de K foram 9,6, 11,1, 10,2 e 11,5 g kg<sup>-1</sup>.

**Termos para indexação:** K trocável, K não-trocável, K total, solo de várzea, *Oryza sativa*.

### ABSTRACT

The present work was conducted in a greenhouse at the Department of Soil Science of the Federal University of Lavras, Minas Gerais State, Brazil, in the period of February to June 2002, to investigate the response to potassium fertilization by rice plants (*Oriza sativa* L. cv. Jequitibá) cultivated in flooded soils, the contribution of the K form on their nutrition, and to estimate the critic levels of the nutrient in the soils and in the plants. The experimental design utilized was the totally randomized, in the 4 x 5 factorial scheme, with four replications. Four flooded soils (Metic Organosol – OY, Melanic Gleysoil – GM, Haplic Gleysoil – GX, and Fluvic Neosol – RU) and five levels of potassium saturation of the potential CEC (natural content, 4, 6, 8 and 10% of the pH – 7.0 CEC saturated with K) were used. Natural soil K saturations (percentage of pH-7.0 CEC) were 1.55 for the OY soil, 1.30 for the GM soil, 1.65 for the GX soil, and 1.49 for the RU soil. Initially, sufficient samples of 4 dm<sup>3</sup> for all soils received limestone to elevate the V to 50% and were incubated for 30 days. Following that, samples of 3 dm<sup>3</sup> received the potassium treatments and a basic fertilization with macro and micronutrients and were incubated for more 30 days, in vases with capacity for 5 dm<sup>3</sup>. In the end of this period, the soils were flooded, to receive two rice plants per vase, on which were measured the leaf content of potassium at the flowering period and the yield at the end of the cycle. In sub-samples obtained from the soils of the vases before and after cultivation, the forms of potassium total K (K<sub>tot</sub>), nonexchangeable K (K<sub>ne</sub>), exchangeable K (K<sub>e</sub>), K in solution (K<sub>sol</sub>) and available K by the Mehlich-1 extractant were measured. From the results, it was verified that the plants responded in grain yield to the potassium fertilization in all the studied soils. There was uptake of K<sub>ne</sub> by the crop, however, it was the K<sub>e</sub> form that contributed most to the supply of the nutrient.

(Recebido para publicação em 10 de fevereiro de 2003 e aprovado em 23 de abril de 2003)

1. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Lavras/ UFLA, Caixa Postal 37, 37200-000 – Lavras, MG.  
2. Engenheiro Agrônomo, Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Ciência do Solo/UFLA. arcabbau@navinet.com.br  
3. Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Bolsista do CNPq.  
4. Professor Adjunto do NCA/UFMG, Caixa Postal 135, 39404-006 – Montes Claros, MG.  
5. Aluno de Doutorado, Departamento de Ciência do Solo da UFLA.  
6. Aluno do Curso de Graduação em Agronomia da UFLA. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

The critic saturation values of K to obtain 90% of the maximum production were 4.0, 8.1, 7.8, and 4.4% for the RU, GX, GM and the OY soils, respectively. On the same way, the critic leaf levels of K were 9.6, 11.1, 10.2 and 11.5 g kg<sup>-1</sup>.

**Index terms:** Exchangeable K, nonexchangeable K, total K, lowland soil, *Oryza sativa*.

## INTRODUÇÃO

Em razão da importância na dieta básica da população brasileira, a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) no País ocupa o terceiro lugar em área colhida e o quarto em produção. O ecossistema de várzea no Brasil representou cerca de 40% da área total sob o cultivo do arroz, contribuindo com 60% da produção de 10 milhões de toneladas da safra 98/99 (EMBRAPA, 2002).

No Brasil, existem cerca de 30 milhões de hectares de várzeas irrigáveis (PROVÁRZEAS, 1981), dos quais 1,5 milhão encontra-se em Minas Gerais e desse total cerca de 200 mil estão no sul do Estado.

O aproveitamento das várzeas tem sido limitado quase que exclusivamente ao cultivo do arroz inundado no período das águas, embora no período da seca outras espécies podem ser cultivadas economicamente (MORAES e DYNIA, 1992).

De maneira geral, os solos de várzea apresentam problemas relativos à fertilidade; portanto, para sua exploração racional, esses solos devem ser estudados. Em estudos básicos realizados por Andrade (1997) com quatro classes de solo predominantes em várzeas do sul de Minas Gerais, demonstrou-se que a toxidez por alumínio e deficiências severas de P, K, B e N foram as principais limitações ao crescimento e produção de feijoeiro. Villa (1999), também nesses solos, estudou a resposta e o aproveitamento das formas de K pelo feijoeiro sob drenagem. Todavia, em solos irrigados por inundação, pouco se conhece sobre a dinâmica do K e de sua disponibilidade para as plantas.

Tanto em experimentos em vasos quanto sob condições de campo, tem sido constatado que a absorção total de potássio pelas plantas é maior do que o teor inicial de K trocável (ROSOLEM et al., 1993; LANA e NEVES, 1994; MELO et al., 1995; SILVA et al., 1995; SIMONETE, 1998; SILVA, 1999; VILLA, 1999; CASTILHOS e MEURER, 2002), indicando haver contribuição de outras formas de K do solo, além da trocável.

Assim, diante do grande potencial que representam os solos de várzea no Brasil e da escassez de trabalhos envolvendo a dinâmica do potássio em solos inundados, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a resposta à adubação potássica, quantificar a contribuição das formas de K e estimar os níveis críticos do nu-

triente nos solos e em plantas de arroz cultivadas nesses solos sob inundação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa-de-vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizadas amostras de quatro solos de várzea: Neossolo Flúvico (RU), Gleissolo Háptico (GX), Gleissolo Melânico (GM) e Organossolo Mésico (OY) artificialmente drenado, provenientes de uma propriedade particular no município de Lavras (MG).

As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm nos diferentes solos sob vegetação natural, tomando-se o cuidado de retirar a vegetação e os restos orgânicos presentes na superfície. Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 4 mm de abertura e analisadas para fertilidade de rotina. Baseando-se nessa análise, amostras suficientes de 4 dm<sup>3</sup> dos solos foram corrigidas pela aplicação de calcário dolomítico comercial calcinado e micropulverizado, com PRNT = 100%, CaO = 35% e MgO = 14%, cujas doses foram estimadas pelo método da saturação por bases (V) para elevar V a 50% (CFSEMG, 1999).

Após a incubação por 30 dias com umidade mantida a 70% do Volume Total de Poros (VTP), os solos foram secos ao ar e analisados quanto aos atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 1).

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro solos de várzea (RU, GX, GM e OY) e cinco níveis de saturação por K da CTC a pH 7 (natural, 4, 6, 8 e 10%, estabelecidos considerando-se as análises químicas da Tabela 1), com quatro repetições. As doses de K aplicadas para atingir 4, 6, 8 e 10% da CTC a pH 7 foram, respectivamente: 71, 127, 183 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K para o solo RU; 60, 110, 161 e 212 mg dm<sup>-3</sup> de K para o solo GX; 155, 270, 385 e 500 mg dm<sup>-3</sup> de K para o solo GM e 127, 231, 335 e 439 mg dm<sup>-3</sup> de K para o solo OY. No tratamento sem adição de K, as plantas foram cultivadas com a saturação por K natural de cada solo, que correspondeu a 1,49; 1,65; 1,30 e 1,55% para os solos RU, GX, GM e OY, respectivamente; valores calculados com os dados dos teores de K e da CTC a pH 7 apresentados na Tabela 1.

Juntamente com as doses de K, foi aplicada uma adubação básica de sementeira com 80 mg de N, 300 mg de P, 40 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5,0 mg de Zn por  $\text{dm}^3$  de solo, na forma de reagentes p.a.:  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  e  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . As fontes dos nutrientes foram aplicadas em cada solo, de tal forma a manter as doses de K nos níveis estabelecidos nos tratamentos e a adubação básica dos demais nos valores citados. Em seguida, as amostras foram incubadas por mais 30 dias, com umidade mantida a 70% do VTP. Em vasos com capacidade de  $5 \text{ dm}^3$  e drenagem impedida, foram acondicionadas amostras de  $3 \text{ dm}^3$  dos solos com os tratamentos. Posteriormente, os vasos foram inundados com água deionizada, mantendo-se uma lâmina de três cm sobre a superfície do solo.

Dez dias após a inundação, foram transplantadas cinco mudas de arroz (*Oryza sativa* L. cv. Jequitibá), previamente germinadas em papel-toalha, sendo desbastadas para duas mudas após 12 dias, as quais foram conduzidas até o final do experimento, num total de 135 dias. As adubações em cobertura com nitrogênio foram realizadas a partir dos 34 dias do transplante, igualmente para todos os tratamentos, aplicando-se  $530 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, na forma de uréia, parcelados em nove aplicações. Aplicaram-se, também,  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de S, na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , parcelados em três aplicações. As fontes, na forma de solução nutritiva, foram sempre aplicadas a três cm de profundidade da superfície do solo.

Na época do pleno florescimento, aos 90 dias do transplante, foram coletadas folhas bandeira das plantas, nas quais foram analisados os teores de potássio (MALAVOLTA et al., 1997), com o objetivo de se estimar os níveis críticos foliares do nutriente.

No final do ciclo, as plantas foram colhidas e separadas em grãos e parte aérea (palha), as quais foram secas em estufa de circulação forçada de ar a  $65\text{--}70^\circ\text{C}$  até peso constante. Após a pesagem da matéria seca, o material vegetal foi moído e analisado quimicamente para K (MALAVOLTA et al., 1997).

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e a estudos de regressão utilizando o programa estatístico SISVAR. Por meio do ajuste de equações de regressão entre a produção de grãos e as saturações por K da CTC a pH 7 estabelecidas nos tratamentos, foram estimadas as saturações por K necessárias para se atingir a produção máxima e 90% da máxima em cada solo. Foram estimados também os níveis

críticos de K nos tecidos das folhas do arroz, coletadas na época do florescimento, pela substituição das saturações por K para 90% da produção máxima de grãos, nas equações de regressão que relacionam as saturações por K e os teores de K nas folhas bandeira do arroz.

Nas subamostras coletadas dos solos após a incubação com os tratamentos e a adubação básica, antes do cultivo, e nas coletadas após o cultivo, analisaram-se as seguintes formas de K: potássio total (Ktot), potássio não-trocável (Knt), potássio trocável (Ktr), potássio em solução (Ksol) e potássio disponível pelo Mehlich 1 (K M-1).

Os teores de potássio total (Ktot) foram obtidos por digestão lenta em banho de areia, com HF,  $\text{HClO}_4$  e  $\text{HNO}_3$  concentrados, segundo Jackson (1970). O potássio trocável foi determinado pelo acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  pH 7,0 (MIELNICZUK, 1978) e o potássio disponível, pelo Mehlich 1 (EMBRAPA, 1997). A fração de potássio não-trocável foi obtida pela diferença entre a fração extraída com  $\text{HNO}_3$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  por 10 minutos de fervura (KNUDSEN et al., 1982) e aquela obtida com  $\text{NH}_4\text{Ac}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  pH 7,0. O potássio em solução foi extraído com  $\text{CaCl}_2$   $1 \text{ mmol L}^{-1}$  (MIELNICZUK, 1978). Nos extratos obtidos das análises dos solos e das plantas, o teor de K foi determinado por espectrofotometria de chama.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Formas e aproveitamento de K pelo arroz

Na Tabela 2 encontram-se as formas de potássio e a contribuição percentual de cada forma para o K total dos solos estudados. Em relação ao potássio total (Ktot), observa-se que os teores foram diferentes entre os solos estudados, variando de  $2646 \text{ mg dm}^{-3}$  no Gleisolo Melânico (GM) a  $8716 \text{ mg dm}^{-3}$  no Neossolo Flúvico (RU). Prezotti e Defelipo (1987) e Villa (1999) também encontraram uma ampla variação para os teores de K total em várias classes de solos de Minas Gerais.

Para o solo RU, o K não-trocável (Knt) foi a fração que mais contribuiu para o Ktot. Já para os demais solos, as frações que mais contribuíram foram as trocáveis e em solução. Para o solo GM, a maior contribuição percentual das formas prontamente disponíveis (Ktr e K-M1) foi favorecida pelo baixo teor de Ktot nesse solo. Villa (1999), trabalhando com os mesmos solos do presente estudo, também encontrou resultados semelhantes para essas formas de K.

**TABELA 1** – Principais atributos químicos, mineralógicos e físicos dos solos usados no experimento, após a aplicação da calagem.

Químicos												
Solo <sup>(1)</sup>	pH <sup>(2)</sup>	P <sup>(2)</sup>	K <sup>(2)</sup>	Ca <sup>(2)</sup>	Mg <sup>(2)</sup>	Al <sup>(2)</sup>	H+Al <sup>(2)</sup>	t <sup>(2)</sup>	T <sup>(2)</sup>	m <sup>(2)</sup>	V <sup>(2)</sup>	M.O. <sup>(2)</sup>
		-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						----- % -----		g kg <sup>-1</sup>
RU	5,5	2,2	42	1,6	1,0	0,3	4,5	3,0	7,2	10	37,6	20
GX	5,8	3,7	42	1,4	1,0	0,2	4,0	2,7	6,5	7	38,6	36
GM	5,9	6,8	75	3,9	2,7	0,2	7,9	7,0	14,7	3	46,2	199
OY	5,2	6,5	81	3,4	1,8	0,3	7,9	5,7	13,3	5	40,6	60

Químicos								Índice	Mineralógicos	
SiO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(2)</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(2)</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>(2)</sup>	Fe <sub>d</sub> <sup>(3)</sup>	Fe <sub>o</sub> <sup>(3)</sup>	Ki <sup>(4)</sup>		Ct <sup>(3)</sup>	Gb <sup>(3)</sup>
----- g kg <sup>-1</sup> -----									----- g kg <sup>-1</sup> -----	
RU	211,4	225,7	76,1	9,7	0,49	11,7	0,47	1,59	145,2	47,9
GX	85,7	113,4	12,3	6,7	0,12	2,1	0,58	1,28	63,4	18,1
GM	124,3	174,8	12,6	5,8	1,48	2,5	0,55	1,21	47,2	51,8
OY	242,5	248,1	44,0	7,5	0,45	6,1	0,51	1,66	118,7	56,2

Físicos							
Areia Grossa <sup>(2)</sup>	Areia Fina <sup>(2)</sup>	Silte <sup>(2)</sup>	Argila <sup>(2)</sup>	Ds <sup>(2)</sup>	Dp <sup>(2)</sup>	Superfície específica <sup>(2)</sup>	
----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- g cm <sup>-3</sup> -----		--- m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ---	
RU	50	210	410	330	0,81	2,67	135,6
GX	80	510	220	190	1,09	2,59	123,2
GM	60	290	280	370	0,42	1,78	329,4
OY	10	70	510	410	0,62	2,07	175,8

<sup>(1)</sup> RU: Neossolo Flúvico; GX: Gleissolo Háptico; GM: Gleissolo Melânico; OY: Organossolo Mésico.

<sup>(2)</sup> pH = pH em água; P = fósforo pelo Mehlich 1; K = potássio pelo Mehlich 1; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; m = saturação por Al; V = saturação por bases; areia grossa; areia fina; silte; argila; M.O. = matéria orgânica; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; superfície específica; SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = óxidos de silício, alumínio, ferro, titânio e fósforo, respectivamente (EMBRAPA, 1997).

<sup>(3)</sup> Fe<sub>d</sub> = ferro ditionito; Fe<sub>o</sub> = ferro oxalato; Ct = caulinita; Gb = gibbsita.

<sup>(4)</sup> Ki = relação molecular SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Segundo Villa (1999), com os maiores valores da fração do Knt para os solos RU e OY infere-se que essa forma de reserva de potássio está relacionada com os teores mais elevados de silte (Tabela 1) e K total (Tabela 2) desses solos, os quais, por sua vez, estão relacionados com maiores valores de Ki (Tabela 1), indicando que são solos menos intemperizados que o GX e GM. Portanto, pode-se inferir que solos mais intemperizados (menor Ki) e com menores teores de silte vão apresentar também menores teores de Knt e K total.

A classificação do K do solo em trocável e não-trocável, segundo Fernandes et al. (1993), em certas situações não tem se mostrado adequada. Um desses casos é quando acontece de a fração não trocável de K ser menor que a fração trocável, indicando que a extração com  $\text{HNO}_3$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  a quente pode não ser o melhor método para avaliar a reserva de potássio em certos solos. Nesse estudo, esse fato ocorreu para os solos GX, GM e OY (Tabela 2), aspecto também observado por Villa (1999).

A maior capacidade de extração de potássio pelo acetato de amônio 1 mol  $\text{L}^{-1}$  pH 7,0 em comparação ao  $\text{HNO}_3$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  a quente pode estar relacionada à presença de micas resistentes ao intemperismo nas frações silte e argila. Segundo Rich (1968), as micas podem estar revestidas por uma camada de alumínio, que atuaria impedindo a intemperização do mineral; portanto, quando se faz a extração com acetato de amônio 1 mol  $\text{L}^{-1}$  pH 7,0, ocorre a precipitação do alumínio, liberando o potássio contido nas entrecamadas, que se encontrava anteriormente complexado.

Todos os solos estudados apresentaram concentrações de potássio na solução de equilíbrio (Ksol) (Tabela 2) superiores à concentração considerada por Raij (1981) como suficiente para o desenvolvimento vegetal,

que é de 11,7 mg  $\text{dm}^{-3}$ , comportamento observado também em solos de Minas Gerais (PREZOTTI e DEFELIPO, 1987; VILLA, 1999).

De acordo com a CFSEMG (1999), os solos OY e GM estão com a CTC efetiva em nível considerado adequado, e os solos GX e RU, em nível médio (Tabela 1); para o potássio disponível (K-M1) (Tabela 2), os solos RU e GX foram classificados como de nível médio e os solos GM e OY, como de nível bom.

Na Tabela 3 encontram-se os teores de K dos solos nas suas diferentes formas, após a aplicação dos tratamentos e antes do cultivo. Com o aumento das doses de K estabelecidas nos tratamentos de saturação por K, de maneira geral, aumentaram também os teores de K das formas avaliadas, exceto o potássio não-trocável (Knt), que apresentou resultados bastante variáveis e o potássio total (Ktot), para as amostras RU e GM.

Os solos GM e OY, que possuem CTC a pH 7 maiores que os demais solos (Tabela 1), foram os solos que apresentaram os maiores teores de K trocável (Tabela 3), pois esses necessitaram de uma quantidade maior de K para atingir a mesma saturação por esse nutriente.

O solo GM foi o que apresentou os maiores valores das frações de potássio na solução (Ksol) e de potássio disponível pelo Mehlich-1 (K-M1). Contudo, esse foi o solo que apresentou a menor quantidade de potássio total (Ktot).

Na Tabela 4 são apresentados os teores de Ktr e Knt após o cultivo, o K total liberado durante o cultivo (Ktr + Knt liberados) e o K absorvido pelo arroz. Os valores de potássio trocável e não-trocável liberados durante o cultivo foram obtidos pela subtração entre os valores iniciais (Tabela 3) e finais (Tabela 4) de cada forma.

**TABELA 2** – Teores de K total (Ktot), K não-trocável (Knt), K trocável (Ktr), K na solução (Ksol) e K disponível pelo extrator Mehlich 1 (K-M1) para os quatro solos de várzea após a incubação com calcário, na dose zero de K aplicado.

Solo	Ktot	Knt	Ktr	Ksol	K-M1
	----- mg $\text{dm}^{-3}$ -----				
RU	8716	168 (1,9) <sup>1</sup>	99 (1,1)	35 (0,4)	52 (0,6)
GX	3342	41 (1,2)	79 (2,4)	36 (1,1)	44 (1,3)
GM	2646	35 (1,3)	137 (5,2)	53 (2,0)	88 (3,3)
OY	7228	75 (1,0)	127 (1,8)	52 (0,7)	86 (1,2)

<sup>1</sup>Número entre parênteses representa a contribuição percentual de cada fração do K para o Ktot.

**TABELA 3** – Teores de Ktotal (Ktot), K não-trocável (Knt), K trocável (Ktr), K solução (Ksol) e K disponível pelo Mehlich 1 (K-M1), após a aplicação dos tratamentos e antes do cultivo, para os quatro solos de várzea.

Solo	Sat. K	Ktot	Knt	Ktr	Ksol	K-M1
	(%)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
RU	Natural	8716c	168b	99e	35e	52e
	4	9015b	150c	159d	63d	116d
	6	8816c	145d	193c	85c	153c
	8	9015b	139e	261b	107b	200b
	10	9512a	172a	308a	139a	255a
GX	Natural	3342c	41c	79e	36d	44e
	4	3442bc	52a	109d	56c	83d
	6	3541b	50a	163c	96b	124c
	8	3541b	46b	203b	129a	150b
	10	4139a	50a	265a	134a	199a
GM	Natural	2646b	35c	137e	53d	88e
	4	2944a	38bc	354d	165c	277d
	6	3044a	45a	645c	260b	407c
	8	2944a	39b	685b	265b	504b
	10	2944a	45a	934a	380a	594a
OY	Natural	7228d	75c	127e	52e	86e
	4	7320d	67d	267d	144d	196d
	6	7721c	79b	496c	195c	288c
	8	7920b	84a	546b	235b	369b
	10	8219a	77bc	585a	275a	404a
	CV (%)	11,9	8,9	12,2	7,3	12,4

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, dentro de cada solo, não diferem entre si (Tukey, 5%).

**TABELA 4** – Teores de K trocável e não-trocável após o cultivo (final), quantidades de potássio liberadas e absorvidas durante o experimento em função da saturação por K (Sat. K).

Solo	Sat. K	K trocável		K não trocável		K Total Liberado	K Total Absorvido
		Final	Liberado	Final	Liberado		
	(%)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----				----- mg vaso <sup>-1(1)</sup> -----	
RU	Nat	23d (76) <sup>(2)</sup>	75c	146b (13) <sup>(2)</sup>	23b	294e	220e (75) <sup>(3)</sup>
	4	27d (83)	131b	129c (14)	21bc	456d	461d (101)
	6	41c (78)	151b	112e (23)	33a	552c	613c (111)
	8	51b (80)	209a	119d (14)	20c	687b	692b (101)
	10	87a (72)	221a	156a (9)	16d	711a	706a (99)
GX	Nat	27d (65)	51d	26ab (37)	15d	198e	112e (57)
	4	31cd (71)	77cd	28a (46)	24c	303d	322d (106)
	6	37ab (77)	125bc	19c (62)	31a	468c	569c (122)
	8	39a (81)	163b	17c (63)	29ab	576b	723b (126)
	10	33bc (87)	231a	23b (54)	27b	774a	872a (113)
GM	Nat	25d (81)	111d	12c (66)	23a	402e	162e (40)
	4	59c (83)	294c	19b(50)	19b	939d	719d (77)
	6	63c (90)	581b	22ab (52)	23a	1812c	1048c (58)
	8	91b (87)	593b	24a (38)	15c	1824b	1267b (69)
	10	117a (87)	816a	21ab (53)	24a	2520a	1440a (57)
OY	Nat	37d (70)	89c	37b (51)	38c	381e	293d (77)
	4	29e (89)	237b	41a (39)	26d	789d	762c (97)
	6	43c (91)	452a	34bc (57)	45b	1491c	973b (65)
	8	63b (88)	482a	25d (69)	57a	1617a	1137a (70)
	10	101a (83)	484a	32c (58)	45b	1587b	1128a (71)
	CV (%)	7,7	13,1	10,6	12,8	11,3	10,4

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, dentro de cada solo, não diferem entre si (Tukey, 5%)

<sup>(1)</sup>Vaso de 3 dm<sup>3</sup>; <sup>(2)</sup>Número entre parênteses representa a porcentagem de redução do K inicial com o cultivo; <sup>(3)</sup>Número entre parênteses representa a porcentagem do K absorvido em relação ao K liberado total.

O valor de K total liberado (Tabela 4) foi obtido pela soma entre o K trocável liberado e o K não-trocável liberado, multiplicada pelo volume de solo que havia nos vasos (3 dm<sup>3</sup>).

Pela Tabela 4, observa-se que a capacidade de liberação de K, tanto das formas trocáveis quanto das formas não-trocáveis, variaram bastante entre os solos durante o cultivo do arroz. O K trocável liberado aumentou em todos os solos, seguindo a elevação das saturações por K, enquanto, para o K não-trocável liberado, a variação foi totalmente aleatória.

A quantidade de potássio liberada durante o cultivo do arroz nos solos RU e GX, na maioria dos tratamentos, não foi suficiente para atender à demanda por K das plantas (Tabela 4), ocorrendo, desse modo, em uma quantidade absorvida maior do que a liberada; fato também observado por Villa (1999), Nachtigall e Vahl (1989) e Fernandes et al. (1993). Segundo Fernandes et al. (1993), esse fato se deve à presença de formas de K não extraídas pelo HNO<sub>3</sub>, contribuindo para o suprimento de K ao arroz. Assim, é também possível que minerais da fração silte ou areia fina estejam contribuindo para o suprimento de K ao arroz (MUNN et al., 1976) ou, ainda, que existam formas de K no solo não consideradas na descrição clássica do seu comportamento no solo (FERNANDES et al., 1993).

Diversos trabalhos têm demonstrado expressiva contribuição de formas não trocáveis de K na nutrição das plantas (PATELLA, 1980; RICHARDS et al., 1988; NACHTIGALL e VAHL, 1991a, b; MELO et al., 1995; SILVA et al., 1995). Essa fração pode ser absorvida pelos vegetais, fazendo com que, em determinados solos, a omissão da adubação potássica não resulte em redução na produção (ROSOLEM et al., 1993; MENGEL e RAHMATULLAH, 1994). Silva et al. (1995), trabalhando com um Latossolo Roxo álico (LRa) sem adubação potássica, durante dez anos com soja-trigo, verificaram que do teor total de K reduzido do solo, 72,6% eram provenientes de formas não trocáveis do elemento.

### **Produção e níveis críticos de K nos solos e na planta**

Pela análise de variância para matéria seca de grãos (MSGR), verificou-se que os tratamentos (solos e saturações por K e a interação entre eles) influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) a variável analisada.

Nos solos GX e GM, as plantas tiveram uma resposta linear à aplicação de K; já para os solos RU e OY, as equações quadráticas foram as que melhor ex-

plicaram a produção de matéria seca de grãos em função das saturações de K dos solos (Figura 1). A resposta linear à aplicação de K para os solos GX e GM mostra que as saturações utilizadas nos tratamentos foram insuficientes para se atingir a produção máxima.

Para todos os solos, no tratamento com saturação natural (sem aplicação de K), foram observados sintomas típicos de deficiência de K e ocorrência de maiores quantidades de grãos chochos e, conseqüentemente, baixo peso da MSGR nesse tratamento. De acordo com Faquin (1997), o K apresenta função de transportador de fotoassimilados das folhas para os órgãos de reserva da planta, função essa que pode explicar o chochamento dos grãos das plantas deficientes no nutriente.

Para os solos RU e OY, com base nas equações apresentadas na Figura 1, foram estimadas as produções de MSGR e as saturações por K correspondentes à produção máxima e 90% da produção máxima (nível crítico), sendo essa considerada como a de máxima eficiência econômica (SPENCER e GLENDINNING, 1980; ALVARES et al., 1988; MALAVOLTA et al., 1997). Para os solos GX e GM que apresentaram relação linear entre a saturação por K e a MSGR, foram consideradas como máximas as produções obtidas nas saturações do nutriente estabelecidas no tratamento 10% da CTC a pH 7 (Tabela 5).

Entre os solos estudados, observa-se uma grande variação dos valores estimados para a saturação por K dentro de cada índice de produção (Tabela 5). No índice de 90% da produção máxima, as menores saturações por K observadas para os solos RU, 4,0% e OY, 4,4% (Tabela 5) foram devidas aos maiores incrementos na produção com as saturações mais baixas de K, o que resultou num ajuste do modelo quadrático aos solos (Figura 1). Já para os solos GX e GM, as saturações por K correspondentes a 90% da produção máxima foram, respectivamente, 8,1% e 7,8%. Essas maiores saturações ocorreram em conseqüência do ajuste linear dos dados (Figura 1), uma vez que as quantidades de K aplicadas não foram suficientes para atingir a produção máxima. Observa-se que esse critério de se considerar como máxima a produção obtida na maior saturação por K é inapropriado para situações de ajuste linear entre as variáveis, como as obtidas no presente trabalho.

Na Tabela 5, observa-se também que as saturações por K para 90% da máxima produção de MSGR correspondem a 50% para o solo RU, 81% para o GX, 78% para o GM e 55% para o solo OY, da saturação por K necessária para a máxima produção. Essa redução na saturação de K acaba gerando uma economia



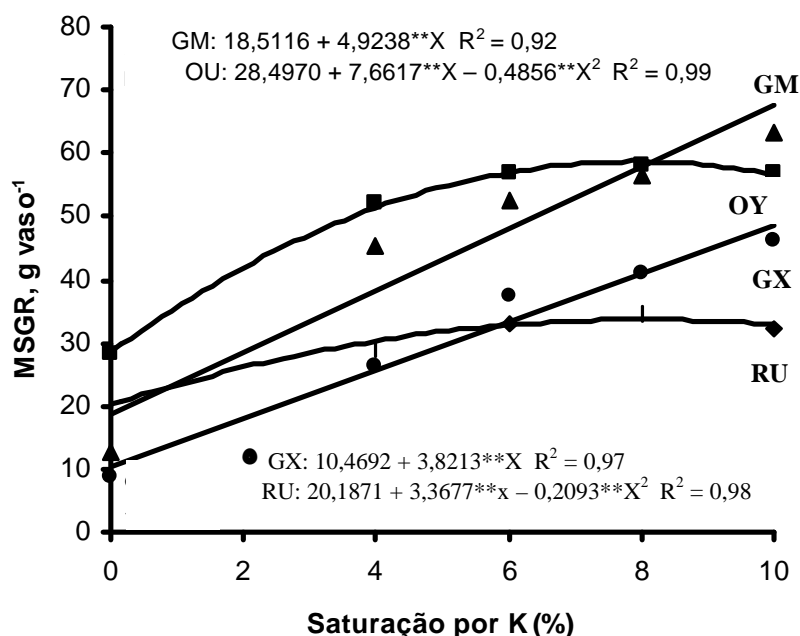
com adubação, principalmente para os solos RU e OY, em que essa redução foi maior.

Com os resultados apresentados na Figura 1 e Tabela 5, evidencia-se a diferença na capacidade produtiva de arroz dos solos estudados. Nos dois níveis de produção estabelecidos (90% e máxima), o solo GM foi o que obteve a maior produção de MSGR. Villa (1999), trabalhando com feijão, também verificou que o solo GM proporcionou maior produção de MSGR.

Na época do florescimento, a concentração de K no tecido foliar do arroz para os solos RU e GX aumentou linearmente com o aumento das saturações por K,

como se observa nas equações da Tabela 6. Já para os solos GM e OY, as saturações por K não afetaram significativamente os seus teores foliares.

Foram substituídas nas equações da Tabela 6, para os solos RU e GX, as saturações por K correspondentes a 90% da MSGR máxima (Tabela 5), estimando-se, assim, os níveis críticos foliares de K para esses solos. Para os solos GM e OY, como não houve efeito significativo das saturações por K sobre os seus teores foliares, para estimar esses valores, considerou-se a média dos valores obtidos nas saturações por K para esses solos.



**FIGURA 1** – Produção de matéria seca de grãos (MSGR) pelo arroz em função da saturação por K da CTC a pH 7 dos solos de várzea. (\*\*significativo ao nível de 1%).

**TABELA 5** – Produção estimada de matéria seca de grãos (MSGR) correspondente à produção máxima e 90% da máxima e as saturações por K estimadas para promover essas produções.

Solo	MSGR (g vaso <sup>-1</sup> )		Saturação por K (%)	
	90%	Máxima	90%	Máxima
RU	30,4	33,8	4,0(50) <sup>(1)</sup>	8,0
GX	41,5	46,1	8,1(81)	10,0
GM	57,0	63,3	7,8(78)	10,0
OY	52,8	58,6	4,4(55)	7,9

<sup>(1)</sup> Representa a porcentagem em relação à saturação máxima, necessária para atingir 90% da máxima produção.

**TABELA 6** – Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de K (Y, em g kg<sup>-1</sup>) na época do florescimento, como variável dependente das saturações por K estabelecidas nos tratamentos (X, em %) e os níveis críticos foliares para 90% da MSGR máxima.

Solo	Equação	R <sup>2</sup>	Níveis críticos (g kg <sup>-1</sup> )
RU	Y=8,5783+0,2627** X	0,80	9,6
GX	Y=9,2599+0,2315* X	0,94	11,1
GM	Y=10,2	ns	10,2
OY	Y=11,5	ns	11,5

**\*\*,\*Significativo ao nível de 1 e 5%, respectivamente.**

Observa-se que os níveis críticos foliares variaram muito pouco entre os solos de várzea estudados (Tabela 6). Como os valores de produção de grãos correspondentes a 90% da máxima variaram grandemente entre os solos (Tabela 5), pode-se inferir que outros atributos físicos, químicos e/ou físico-químicos relacionados aos solos estudados, além da nutrição potássica, estão influenciando o crescimento e a produção da cultura. Assim, esses atributos que influenciam o crescimento das plantas afetam também a eficiência de utilização dos nutrientes, conferindo às plantas produções diferentes com teores foliares semelhantes.

### CONCLUSÕES

O arroz inundado respondeu significativamente em produção de grãos à adubação potássica nos solos de várzea estudados.

Houve aproveitamento do potássio não-trocável pelo arroz inundado, embora a forma trocável foi a que mais contribuiu no fornecimento do nutriente à cultura.

Nos solos, as saturações críticas por potássio para 90% da produção máxima foram 4,0; 8,1; 7,8; e 4,4% para os solos Neossolo Flúvico, Gleissolo Háplico, Gleissolo Melânico e Organossolo Mésico, respectivamente. Na planta, da mesma forma, os níveis críticos foliares de potássio foram 9,6; 11,1; 10,2 e 11,5 g kg<sup>-1</sup>.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. de; BRAGA, J. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; RIBEIRO, A. C.; DEFELIPO, B. V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.

ANDRADE, C. A. de B. **Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro em solos de várzea do sul de Minas Gerais.** 1997. 107 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 977-982, 2002.

COMISSÃO DE FERTILIZANTES DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Belo Horizonte, 1999. 359 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Arroz e Feijão. **Informações sobre a cultura do arroz.** Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 02 set. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 227 p.

FERNANDES, D. M.; ROSSETTO, C. A. V.; ISHIMURA, I.; ROSOLEM, C. A. Nutrição da soja e formas de potássio no solo em função de cultivares e adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 405-410, set./dez. 1993.

JACKSON, M. L. **Análisis química de suelos.** 2. ed. Barcelona: Omega, 1970. 66 p.

- KNUDSEN, D.; PETERSON, G. A.; PRATT, P. F. Lithium, sodium and potassium. In: PAGE, A. L.(Ed.). **Methods of Soil Analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy/ Soil Science Society of America, 1982. p. 225-246.
- LANA, M. C. do; NEVES, J. C. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto no Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, p. 115-122, 1994.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 210 p.
- MELO, V. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 165-171, maio/ago. 1995.
- MENGEL, K.; RAHMATULLAH. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p. 75-79, 1994.
- MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa e do Fosfato, 1978. 80 p. (Boletim Técnico, 2).
- MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley pouco Húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 223-235, fev. 1992.
- MUNN, D. A.; WILDING, L. P.; McLEAN, E. O. Potassium release from sand, silt and clay soil separates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 363-366, 1976.
- NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 37-42, 1991a.
- NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Dinâmica da liberação de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 43-47, 1991b.
- NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Formas de potássio em solos da região sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 7-12, 1989.
- PATELLA, J. F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento do trigo e algumas propriedades solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 31-35, jan./abr. 1980.
- PREZOTTI, L. C.; DEFELIPO, B. V. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 109-114, 1987.
- PROVÁRZEAS. **Programa nacional para o aproveitamento de terras de várzea irrigáveis: PROVÁRZEAS - Brasil**. Brasília, DF, 1981.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.
- RICH, C. I. Mineralogy of soil potassium. In: KILMER, V. J.; YOUNTS, S. E.; BRADY, N. C. **The role of potassium in agriculture**. Madison: SSSA, 1968. p. 79-108.
- RICHARDS, J. E.; BATES, T. E.; SHEPPARD, S. C. Studies on the potassium-supplying capacities of Southern Ontario soils. I: field and greenhouse experiments. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 68, p. 183-197, 1988.
- ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 1041-1054, 1993.
- SILVA, D. N. da; MEURER, E. J.; KAMPF, N.; BORKERT, C. M. Mineralogia e formas de potássio em dois latossolos do estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 433-439, set./dez. 1995.

SILVA, I. R. **Crescimento inicial, absorção de macromolculas e eficiência nutricional em espécies florestais nativas submetidas à adubação potássica.** 1999. 53 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SIMONETE, M. A. **Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto.** 1998. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

SPENCER, K.; GLENDINNING, J. S. Critical soil test values for predicting the phosphorus and sulfur status of subhumid temperate pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 18, n. 4, p. 435-445, 1980.

VILLA, M. R. **Potássio em solos de várzea e nutrição potássica do feijoeiro.** 1999. 57 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.