



**POTÁSSIO EM SOLOS DE VÁRZEA E NUTRIÇÃO
POTÁSSICA DO FEIJOEIRO**

MARCELO RONALDO VILLA

1999

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

CHICAGO, ILLINOIS

47642
33496MFN

MARCELO RONALDO VILLA

**POTÁSSIO EM SOLOS DE VÁRZEA E NUTRIÇÃO POTÁSSICA DO
FEIJOEIRO**

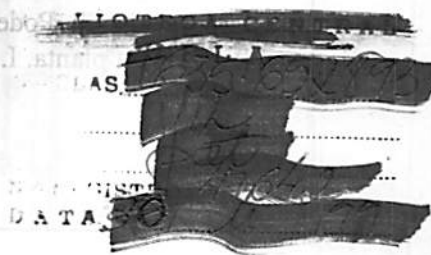
Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Agronomia,
área de concentração em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador: (Mestrado)

JUN

CDD-635.622893

1999



**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Villa, Marcelo Ronaldo

**Potássio em solos de várzeas e nutrição potássica do feijoeiro / Marcelo Ronaldo
Villa. -Lavras: UFLA, 1999.**

53 p. : il.

**Orientador: Valdemar Faquim.
Dissertação (Mestrado) - UFLA.
Bibliografia.**

**1. Feijão. 2. Nutrição mineral. 3. Potássio. 4. Solo de várzea. 5. Quantidade. 6.
Intensidade. 7. Poder tampão. 8. Forma de potássio. 9. Potássio no solo. 10.
Potássio na planta. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.**

CDD- 635.652893

MARCELO RONALDO VILLA


**POTÁSSIO EM SOLOS DE VÁRZEA E NUTRIÇÃO POTÁSSICA DO
FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Agronomia,
área de concentração em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 30 de junho de 1999

Prof. Luiz Roberto Guimarães Guilherme UFLA

Luiz Arnaldo Fernandes CPGSNP/UFLA


Prof. Valdemar Faquin
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

*Aos meus pais, Américo e Anita, pelo apoio
e incentivo a minha formação e aos meus
irmãos, Marcos, Meire e Moacir, pela
amizade.*

DEDICO E OFERÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Valdemar Faquin, pela orientação, apoio e ensinamentos transmitidos durante o curso.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto e Luiz Arnaldo Fernandes, pela amizade, co-orientação, esclarecimentos, sugestões e colaboração para a concretização deste trabalho.

Ao professor Luiz Roberto Guimarães Guilherme, pelas sugestões apresentadas.

Ao Engenheiro Agrônomo João Batista Correia, pela atenção dispensada nas análises laboratoriais.

Aos amigos José Romilson, Marcos Koiti, Marcos Carolino, Adriana, Eliane, Paula, Paulo César, Rogério, Flávia, Reginaldo, Watson, Alcivânia, Geraldo Jânio, Fábio (Sul de Minas), Eduardo, Isabela, Isabel, Cláudio, Luciana, Larissa, Eduardo (Duda), Maria Aparecida (Dedé) e Antônio, pela solidariedade e momentos convívios.

Aos companheiros de república, Júlio Bertoni, Júlio Nobrega e Carlos Henrique, pela convivência diária.

Ao amigo e bolsista de iniciação científica, Alex Teixeira Andrade, pela ajuda prestada para realização deste trabalho.

A todo o corpo docente, discente e de funcionários do Departamento de Ciência do Solo, enfim a todos que, de alguma maneira, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 Referencial Teórico	3
2.1 Natureza dos solos de várzea	3
2.2 Potássio no solo	4
2.3 Potássio na planta	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Delineamento experimental e condução do experimento	13
3.2 Formas de potássio no solo	16
3.3 Determinações dos parâmetros da relação Q/I	17
3.4 Variáveis analisadas	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Potássio do solo	20
4.2 Aproveitamento das formas de potássio do solo pelo feijoeiro	27
4.3 Produção do feijoeiro	30
4.3.1 Produção de matéria seca de grãos e níveis críticos de K nos solos	31
4.3.2 Número de vagens por planta e de grãos por vagem	37
4.4 Níveis críticos inferior de K na planta	38
5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	52

RESUMO

VILLA, Marcelo Ronaldo. **Potássio em solos de várzea e nutrição potássica do feijoeiro.** Lavras: UFLA, 1999. 54p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia)*

O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no período de janeiro a abril de 1998, com o objetivo de caracterizar as formas de K e o aproveitamento dessas formas, avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação desse nutriente em solos de várzea e determinar os seus níveis críticos nos solos e nas plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x5 com quatro repetições, sendo quatro solos de várzea [Glei Húmico (GH), Glei Pouco Húmico (GP), Aluvial (A) e Orgânico (O)] e cinco níveis de saturação por K da CTC potencial (natural, 4, 6, 8 e 10%). No tratamento sem adição de K, as saturações por K natural de cada solo corresponderam a 3,3, 2,6, 1,9 e 2,4% para os solos O, GH, GP e A, respectivamente. Após 30 dias de incubação com calcário, subamostras dos solos foram analisadas para K total (Ktot), K não trocável (Knt), K trocável (Kt), K em solução (Ksol), disponível pelos extratores Mehlich-1 e resina e determinados os parâmetros da relação quantidade/intensidade (Q/I) de K. Em seguida, amostras de três dm³ dos solos foram incubadas com os tratamentos e uma adubação básica como macro e micronutrientes por mais 30 dias. No final desse período, cultivaram-se quatro plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca - MG) por vaso, até a maturação dos grãos. Na época do pleno florescimento, amostrou-se uma folha recém-madura de cada planta para a determinação dos teores de K foliar. No final do ciclo todas as plantas foram colhidas, avaliando-se a matéria seca de grãos e os teores de K na matéria seca da parte aérea. Em subamostras dos solos dos vasos antes e após o cultivo analisaram-se novamente o Ktot, Knt, Kt e Ksol. Os teores de Ktot e Knt foram maiores nos solos O e A, enquanto que os teores de Kt e Ksol foram maiores nos solos O e GH. As plantas responderam à aplicação de K em produção de grãos e as saturações críticas por K da CTC potencial correspondentes a 90% da produção máxima foram 5,0, 4,1, 8,7 e 5,3% para os solos O, GH, GP e A, respectivamente. Os níveis críticos de K foliar no florescimento foram 17,9, 30,5, 16,8 e 14,6 mg kg⁻¹ para os solos O, GH, GP e A, respectivamente.

*Comitê Orientador: Valdemar Faquin - UFLA (Orientador); Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA; Luiz Arnaldo Fernandes - CPGSNP/UFLA

ABSTRACT

VILLA, Marcelo Ronaldo. **Potassium in lowland soils and K nutrition of beans.** Lavras: UFLA, 1999. 51p. (Dissertation - Master Program in Agronomy)*

The present study was carried out with lowland soils under greenhouse conditions at the Soil Science Department of Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais State, Brazil, in order to study: i) the soil potassium forms and their availability to beans; ii) the bean plant response to increasing levels of applied K; and iii) the soil and plant critical levels of K. The experimental design was a completely randomized factorial scheme (4x5) with four replicates, which included four lowland soils (Bog Soil - O, Humic Gley - GH, Low Humic Gley - GP, and Aluvial - A) and five K levels (natural content, 4, 6, 8, and 10% of the pH-7.0 CEC saturated with K). Natural soil K saturations (percentage of pH-7.0 CEC) were 3.3 for the O soil, 2.6 for the GH soil, 1.9 for the GP soil, and 2.4 for the A soil. After 30 days of incubation with lime, soils samples were analyzed for total K (K_{tot}), nonexchangeable K (K_{nc}), exchangeable K (K_e), K in solution (K_{sol}), available K by the Mehlich-1 and Resin extractants, as well as the quantity/intensity relationships of K (Q/I). Three-dm³ soil samples were then incubated during 30 days with increasing levels of K plus the additional macro and micronutrients necessary for plant development. At the end of this period, four bean plants were cultivated in each pot up to grain yield. The critical level of K in the plant was measured at the flowering period, using one leaf per plant. At the end of the cycle, grain dry matter yield and K contents of plant shoots were determined and soil samples were again analyzed for K_{tot} , K_{nc} , K_e , and K_{sol} . Total K and K_{nc} were higher in the O and A soils than in the GH and GP soils, whereas greater concentrations of K_e and K_{sol} were found for the O and GH soils. The bean plants responded positively to increasing levels of applied K. The percent K saturations associated with 90% of maximum grain yield (soil K critical levels) were 5.0 for the O soil, 4.1 for the GH soil, 8.7 for the GP soil, and 5.3 for the A soil. The critical levels of K in the plants (mg kg⁻¹) were 17.9 for the O soil, 30.5 for the GH soil, 16.8 for the GP soil, and 14.6 for the A soil.

*Guidance Committee: Valdemar Faquin - UFLA (Major Professor); Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA; Luiz Arnaldo Fernandes - CPGSNP/UFLA

1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) representa uma importante fonte de proteína na dieta alimentar da população brasileira. Entre os demais gêneros, o feijoeiro comum é a espécie mais cultivada, contribuindo com cerca de 95% da produção mundial. O Brasil é o segundo maior produtor de feijão do mundo quando se englobam todos os gêneros e espécies, e o maior produtor mundial quando se trata apenas do gênero *Phaseolus*.

Nos últimos anos, a área cultivada, a produção e a produtividade de feijão vêm crescendo no Brasil. No período de 1990-1994, a área plantada cresceu cerca de 3%, passando de 3,4 para 3,5 milhões de hectares, sendo que as regiões que mais contribuíram com a produção nacional do gênero *Phaseolus* são a sul e sudeste, com 69% do total nacional. Mesmo com esse crescimento na área plantada, se considerarmos a projeção de um consumo *per capita* para o ano 2000 de 20 kg hab⁻¹ ano⁻¹ e persistindo os mesmos níveis de produtividade atual, teria que se aumentar a área plantada em 9% para se evitar a importação de 294 mil toneladas para suprir o mercado (Moraes, 1988).

Uma possível fronteira agrícola que pode ser incorporada ao processo produtivo são os solos de várzea, embora as pesquisas básicas, com ênfase à sua fertilidade, sejam reduzidas ou mesmo inexistentes. Estimam-se que cerca de 30 milhões de hectares de várzea têm potencial para serem cultivados, mas apenas 5% estão sendo utilizados no processo produtivo, principalmente (ou quase que exclusivamente) com arroz irrigado. A pequena utilização dessas áreas é função da falta de tecnologias disponíveis para outras culturas.

O feijoeiro mostra-se como grande opção para o cultivo no período seco, juntamente com outras espécies como o trigo, soja e ervilha, pelo fato de apresentar grande adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas e por

fazer parte da maioria dos sistemas produtivos dos pequenos e médios produtores brasileiros (Moraes e Dynia, 1992).

Em 1975, foi implantado o Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas (PROVÁRZEAS) no Estado de Minas Gerais, estimando-se em 1,5 milhões de hectares a área de várzeas potencialmente irrigáveis do ponto de vista edáfico e passíveis de serem cultivadas, com um total de 200.000 hectares somente na região sul do Estado.

Essas áreas tornam-se uma opção de exploração agrícola devido à topografia favorável à mecanização e à disponibilidade de água para irrigação, com possibilidade de intensa utilização dos solos e aumento da produção de alimentos em até seis vezes, se comparadas às áreas não irrigadas.

Devido aos processos de formação, os solos de várzea possuem grande heterogeneidade quanto a composição granulométrica e mineralógica. Além disso, esses solos passam por períodos sob inundação, o que lhes confere características e propriedades adversas às verificadas em solos de boa drenagem (Ponnanperuma, 1972). Desse modo, há a necessidade de se conhecerem suas características físicas e químicas para fornecer subsídios técnicos para a identificação de sua aptidão agrícola, preservação e exploração dos recursos naturais, evitando-se ou reduzindo-se problemas ambientais decorrentes do cultivo desses solos.

Pelo fato destes solos apresentarem, de modo geral, limitações ao uso agrícola, tais como excesso de água, baixa fertilidade natural e acidez elevada, torna-se imprescindível o conhecimento de sua capacidade de suprir nutrientes às plantas, para que se possam fazer recomendações de adubações para uma produção eficiente. A grande maioria dos trabalhos de avaliação das deficiências, respostas aos nutrientes e correção dos solos, envolve quase que exclusivamente solos de terra altas.

Andrade (1997), trabalhando com solos de várzea representativos do sul de Minas Gerais, verificou que, dentre os macronutrientes, o potássio, o fósforo e o nitrogênio foram os mais limitantes à produção do feijoeiro. Assim, o presente trabalho teve como objetivos caracterizar as formas de potássio e o aproveitamento dessas formas, avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação desse nutriente em solos de várzea representativos do sul de Minas Gerais e determinar os níveis críticos do potássio nos solos e na planta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Natureza dos solos de várzea

Uma várzea ou também planície de inundação é constituída de terrenos baixos e “geralmente” planos que se encontram adjacentes às margens dos rios (Curi et al., 1988). Esses solos estão sujeitos a regimes de inundação e por isso sofrem constantes deposições de sedimentos transportados por cursos d'água, ou mesmo trazidos das encostas circunvizinhas pelo efeito erosivo das chuvas (Valente et al., 1996). Esse excesso de água ocorre devido à localização em relevo plano, presença de menor permeabilidade no subsolo e às constantes inundações a que estão sujeitos.

Por desenvolverem-se a partir dos sedimentos carreados de diversas fontes, sua grande variabilidade, tanto horizontal quanto vertical, influencia marcadamente as camadas dos solos resultantes (Curi et al., 1988).

Devido à grande heterogeneidade quanto a composição granulométrica e mineralógica dos sedimentos trazidos pelos cursos d'água, tais solos possuem grande diversidade em suas características físicas e químicas (Guilherme, 1990), sendo essa uma característica muito marcante nos solos que apresentam má drenagem ou hidromorfismo (Klamt, Kämpf e Schneider, 1985).

Conforme EMBRAPA (1982), dentro das principais classes de solos de várzea do Estado de Minas Gerais, destacam-se basicamente o Orgânico (O), Glei Húmico (GH), Glei Pouco Húmico (GP), e Aluvial (A). Esses solos podem ser utilizados para cultivos intensivos, tendo como grande vantagem a utilização dos recursos hídricos naturais, com reduzidos custos energéticos (Galvão, 1990), e a sua topografia favorável à mecanização e irrigação contínua (Abreu, 1985). Essa última representa um aspecto de grande importância em função de seca, ou veranicos que podem ocorrer nas regiões onde se encontram as várzeas, limitando a produção. Como limitações ao uso agrícola destacam-se o excesso de água e a baixa fertilidade natural.

Para uma utilização racional, deve-se promover sua drenagem e corrigir o solo com calagem e adubações adequadas, visando ao máximo rendimento das culturas (Klamt, 1984; Paula, 1995; Andrade, 1997). Deve-se ter sempre em mente que as várzeas são ecossistemas extremamente frágeis, havendo a necessidade de subsídios quanto à aptidão agrícola e manejo dos seus solos.

2.2 Potássio no solo

O potássio é um dos elementos essenciais que se apresenta com maior percentagem na crosta terrestre, podendo esse valor variar de 2,3 a 2,5% (Mielniczuk, 1978).

O teor de K trocável nos solos varia entre 0,04 a 3%, com média em torno de 1%, sendo que em solos alcalinos pode chegar a 8% (Oliveira e Dantas, 1984; Fassbender, 1994). O teor no solo provém da decomposição de minerais primários, sendo que esses podem ser variáveis de solo para solo, dependendo de características como grau de desenvolvimento, natureza do material de origem, tipo de argilominerais (Mielniczuk, 1982; Yamada e Borkert, 1992), uso agrícola e vegetação existente (Yamada e Borkert, 1992; Fassbender, 1994).

O potássio no solo se apresenta de diversas formas, muitas das quais não disponíveis às plantas. Em função de sua disponibilidade para as plantas, o potássio do solo pode ser classificado em quatro categorias, que seguem uma ordem crescente de disponibilidade: estrutural (mineral), não trocável ou dificilmente disponível, trocável, e da solução que, somadas, fornecem o K total (Tisdale et al., 1993). Como essas frações encontram-se em equilíbrio dinâmico (Sparks, 1980), extratores químicos específicos têm sido utilizados nas suas quantificações, tendo como vantagem permitir a comparação das formas de K em estudos conduzidos sob diferentes condições.

Uma grande variabilidade nos teores de potássio total, extraído com a combinação de HF, HClO₄ e H₂SO₄, é observada no Brasil, como conseqüência da grande variabilidade no clima regional, material de origem e das condições de intemperismo - lixiviação a que os diferentes solos são submetidos. Para solos de Minas Gerais, Prezotti e Defelipo (1987) citam variações nos teores de K total de 360 a 3700 mg kg⁻¹.

O potássio não trocável compreende o K adsorvido nas entrecamadas de minerais de argila 2:1 e uma parte do K contido em minerais primários de mais fácil intemperização (Mielniczuk e Selbach, 1978). A avaliação dessa fração tem sido feita principalmente através de extratores químicos, sendo que o método mais comumente empregado é a sua extração com HNO₃ fervente (Knudsen et al., 1982). A diferença entre a fração assim extraída e a fração trocável constitui a fração de K não trocável do solo, a qual representa a porção do potássio do solo que será liberada a médio prazo.

Os valores de K não trocável nos solos também apresentam variações significativas entre solos e regiões. Para solos do Estado de São Paulo, Lana e Neves (1994) obtiveram valores variando de 34 a 3050 mg kg⁻¹, enquanto que para solos de Minas Gerais, Prezotti e Defelipo (1987) encontraram teores que

variaram de 4 a 40 mg kg⁻¹, para os solos: Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Areia Quartzosa (AQ) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

Mengel e Haeder (1973) verificaram que em algumas áreas onde os solos são menos intemperizados, os minerais primários potássicos, que são considerados como formas não trocáveis, podem contribuir como fonte de potássio para as plantas. Oliveira et al. (1971), submetendo solos a cultivos sucessivos, em casa de vegetação, constataram que o total de potássio absorvido pelas plantas foi superior à quantidade inicialmente existente na forma trocável. Também em cultivos sucessivos, utilizando como planta indicadora o trigo e o trevo, (Gama, 1967) observou que, 50 a 90% do potássio absorvido por essas plantas foram provenientes do K de formas não trocáveis. Cultivando trigo durante 15 anos, Patella (1980) verificou que o teor de K-extraível por Mehlich 1 na testemunha, sem aplicação de adubação potássica, praticamente não se reduziu, indicando a capacidade que o solo tem de repor o K-trocável, utilizando as formas não trocáveis.

Embora a utilização pelas plantas das formas não trocáveis de potássio venha sendo observada em vários solos e culturas (Rosolem, Bessa e Pereira, 1993; Lana e Neves, 1994; Melo et al., 1995; Silva et al., 1995; Silva, 1999), deve-se considerar que o uso dessas formas não trocáveis pode levar a um empobrecimento dos solos em K, exigindo dessa maneira doses elevadas do nutriente para suprir a demanda das plantas (Grimme, 1976), e ainda repor as formas de K não trocáveis removidas pelos cultivos (Fernandes et al., 1993).

Os íons potássio, como outros cátions trocáveis, estão retidos por atração eletrostática aos colóides do solo negativamente carregados, podendo ser facilmente deslocados ou trocados com diversas soluções, sendo o acetato de amônio pH 7,0 a solução padrão usada para determinar a quantidade de potássio trocável nos solos (Tisdale et al., 1993). Essa forma de K contribui em valores variáveis para o potássio total, do solo. Nachtigall e Vahl (1989), em solos do

Rio Grande do Sul, encontraram uma contribuição média do K trocável de 0,9% do K total. Conforme relatado por Prezotti e Defelipo (1987), para solos de Minas Gerais, a participação do K trocável variou de 5 a 20% do K total.

Segundo Tisdale e Nelson (1993), para uma correta avaliação da disponibilidade de potássio é necessário que se tenha conhecimento das características mineralógicas do solo, tais como a natureza e quantidade de minerais primários ricos em potássio e o tipo e a quantidade de minerais secundários ou argilominerais. Para solos das regiões tropicais, altamente intemperizados, praticamente isentos de argilas expansivas e minerais-fontes de potássio facilmente intemperizáveis, o K trocável pode ser utilizado como índice de disponibilidade, uma vez que também é insignificante a contribuição de formas não trocáveis nesses solos (Raij, 1981; Ritchey, 1982). Segundo Havlin e Westfall (1985), o K trocável é o índice mais utilizado para avaliar a capacidade de suprimento imediato de potássio do solo para as plantas.

A fração de potássio solúvel é constituída pelo K que se encontra na solução do solo, num dado momento, sob condições normais de umidade e livre de forças de adsorção (Reitemeier, 1951). Essa fração apresenta uma pequena participação em relação ao K total do solo, e a sua avaliação apenas demonstra a disponibilidade momentânea de K para as plantas (Tisdale et al., 1993). Contudo, a sua importância pode às vezes ser significativa, visto que em determinadas situações o K da solução é o principal fator a influenciar a absorção desse nutriente pelas plantas (Gianelo e Mielniczuk, 1981).

Segundo Mielniczuk (1978), tanto a absorção de potássio pelas plantas quanto as perdas por lixiviação dependem diretamente da concentração do elemento na solução do solo. Essas diferentes formas de potássio (K estrutural, K não trocável, K trocável e K solução), mantêm-se em um equilíbrio dinâmico no solo e sempre que o elemento é retirado do sistema, um novo equilíbrio é restabelecido. Como o teor na solução do solo é muito pequeno, suficiente

apenas para o crescimento das culturas por apenas um ou dois dias (Lopes, 1989), a forma comumente adotada para avaliar sua disponibilidade de K às plantas é o K trocável (Parra, 1989).

Os baixos teores de potássio disponível nos solos, de maneira geral, constituem uma das causas do pouco crescimento das plantas, principalmente em solos de regiões tropicais que apresentam baixa reserva do K nativo e baixa CTC. Diante disso e em função do elevado custo de importação dos fertilizantes potássicos e perdas por lixiviação desse elemento em solos altamente intemperizados, vários estudos tem sido realizados com o intuito de se obterem subsídios para a recomendação mais adequada da adubação potássica. A quantidade de K no solo abaixo da qual a produção das culturas é limitada, denominada de nível crítico, varia de acordo com os atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo.

Para que se possa melhorar a avaliação da disponibilidade de potássio para as plantas é importante que se tenha também conhecimento dos fatores quantidade (K-trocável) e intensidade (K-solução), e da relação entre esses dois fatores que constitui o Poder Tampão de Potássio (PTK) do solo, ou seja, a capacidade que o solo tem em manter uma certa concentração de K na solução, quando da absorção pelas plantas ou de perdas ocorridas no solo (Goedert et al., 1975; Mielniczuk, 1982).

A relação quantidade/intensidade(Q/I) foi desenvolvida por Beckett (1964a) após confirmação da Lei da Relação estabelecida por Schoefield (1947), citado por Goedert (1975), que introduziu o conceito de potencial químico como parâmetro relacionado à disponibilidade de nutrientes às plantas. Beckett (1964a) também introduziu o conceito de quociente de atividade de potássio (QAK), que representa a relação $aK/(aCa)^{0.5}$, que é uma medida do potencial químico do potássio em relação ao do cálcio presente na solução do solo.

Segundo esse autor, a disponibilidade de potássio no solo ou sua troca pelo cálcio depende do potencial de potássio e do potencial cálcico.

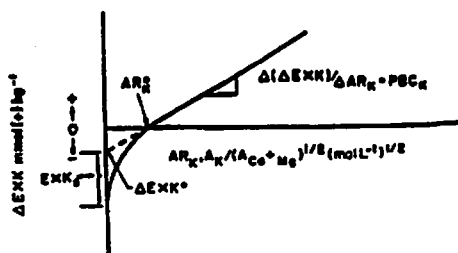
Como o Ca e o Mg possuem propriedades de troca muito semelhantes, eles podem ser considerados como sendo uma única espécie. Dessa maneira, o QAK pode ser calculado como $aK/(aCa + aMg)^{0.5}$ (Beckett, 1964a).

Segundo Beckett e Nafady (1967), quando se está estudando o termo quantidade em relação ao QAK, este deve ser medido em termos de ΔK . Esse termo representa a quantidade de potássio adsorvido ($+\Delta K$) ou dessorvido ($-\Delta K$) pelo solo quando em equilíbrio com soluções de diferentes QAK.

Estudando solos de Oxford, Beckett (1964a) verificou que a tendência dos gráficos da relação Q/I para os solos estudados era a mesma, uma parte superior linear e uma inferior na forma de curva assintótica em relação ao eixo ΔK .

Como a inclinação da parte reta $\Delta K/\Delta QAK$ representa o poder tampão de potássio do solo (PTK), em concentrações baixas de potássio trocável, maiores valores serão obtidos devido ao aumento do coeficiente de seletividade, ou seja, maior retenção de potássio em relação ao cálcio mais magnésio (Mielniczuk, 1978). A parte inferior do gráfico representa a quantidade total de potássio trocável no solo, sendo o potássio preferencial (posições "e" e "i") dado pela diferença entre os valores de ΔK correspondente à extremidade da região curva e à extrapolação da região reta do gráfico. O potássio planar, deste modo, é a diferença entre o potássio trocável total e potássio preferencial (Mielniczuk, 1978; Beckett e Nafady, 1967).

Tais parâmetros obtidos através da curva Q/I são muito variáveis em função das características físico-químicas e mineralógicas dos solos. A composição do complexo sortivo ou tipo de argila predominante é que vai determinar se o potássio vai ser mais ou menos facilmente liberado para a solução.



2.3 Potássio na planta

O potássio (K^+) é o único cátion monovalente essencial ao crescimento das plantas (Huber e Army, 1985), embora em algumas espécies o sódio possa substituí-lo parcialmente.

O potássio é absorvido como cátion monovalente K^+ , sendo esse o mais abundante nos tecidos vegetais, mesmo não participando da estrutura de nenhum composto estrutural (Malavolta, 1976; Huber e Army, 1985; Marschner, 1995). É comprovadamente, o segundo nutriente mais extraído e exportado pelo feijoeiro, superado apenas pelo nitrogênio (Rosolem, 1987; El-Hunsy, 1992; Fageria e Souza, 1995).

Embora não se conheça nenhum composto orgânico presente nos tecidos vegetais do qual o potássio faça parte, sabe-se que sua principal função é a ativação de catalizadores enzimáticos com mais de 60 enzimas ativadas pelo nutriente (D' Alejandro, 1986; Malavolta, 1981; Marschner, 1995). Adicionalmente, o K é responsável pela manutenção da turgescência do tecido, resultando em maior atividade celular, participa da regulação da abertura e fechamento estomático (Malavolta, 1981; Marschner, 1995) e influencia a fotossíntese juntamente com a despolarização das membranas dos tilacóides (Marschner, 1995). Maior resistência ao acamamento devido à lignificação das células esclerenquimáticas e maior espessura das paredes celulares (Malavolta, 1981; Huber e Army, 1985; Ito et al., 1993). Maior transporte de

fotoassimilados, melhor qualidade dos produtos e maior resistência a geadas, seca, ventos, temperaturas baixas e ou altas, e excesso de água (Malavolta, 1981; Malavolta e Crocomo, 1982), também são atribuídos ao potássio.

De acordo com Marschner (1995), quando as plantas apresentam-se nutricionalmente equilibradas, essas possuem maior resistência ao ataque de pragas e fungos. Malavolta et al. (1997) citam algumas deficiências que aumentam a incidência de pragas e doenças, referindo-se ao K e ao B como os nutrientes estreitamente relacionados à ocorrência de pragas e também os que mais favorecem o decréscimo da produção das mesmas.

De maneira geral, a absorção de nutrientes segue a curva de crescimento de cada planta (Moraes, 1988); no entanto, para o feijoeiro, todo o nitrogênio e potássio são requeridos e absorvidos nos primeiros 50 dias. Cobra Neto, Accorsi e Malavolta (1971), estudando a absorção do K e outros nutrientes pelo feijoeiro, verificaram que existem dois períodos de grande demanda pelo nutriente. O primeiro, entre 25 - 35 dias após a emergência (época da diferenciação floral), onde a cultura absorve em torno de $1,69 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de K, e o segundo período, entre 45 - 55 dias (final do florescimento e início da formação das vagens), onde a cultura absorve em média $3,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de K. A partir do final da época de florescimento, não há mais absorção aparente de potássio pelas plantas, sendo possível inferir que a maioria do potássio contido nas vagens e grãos do feijoeiro foi translocada das folhas (Haag et al., 1967).

Com relação à quantidade de K extraída pela cultura do feijoeiro para a produção de uma tonelada de grãos, Guedes e Junqueira Netto (1978) e Bastos (1990) verificaram uma extração de 20 a 32 kg de K, enquanto que Rosolem e Marubasuashi (1994), verificaram uma extração de 15,3 kg de K. Trabalhos recentemente conduzidos por El-Husny (1992) com a cultivar carioca em casa de vegetação mostraram uma extração de 85 kg ha^{-1} de K. Segundo Amaral et al.

(1980), tais diferenças podem ser atribuídas a variações climáticas, tipos de solo, cultivares e também à produtividade esperada.

Para fins de manejo da fertilidade do solo, é muito importante que se conheçam as quantidades de nutrientes absorvidas e exportadas pelas plantas durante o cultivo (Rosolem, 1987). Para a cultura do feijoeiro, a quantidade de nutrientes exportada se refere àquela que está presente nos grãos e também àquela existente na palha, pelo fato dos pequenos e médios produtores geralmente não retornarem essa porção ao solo. Em cultivos mais tecnificados, onde a colheita é feita através de trilhadeiras mecanizadas no próprio campo de produção, esses nutrientes presentes na palhada não são perdidos e retornam ao solo (Amaral et al., 1980).

A ocorrência de sintomas de deficiência de potássio na cultura do feijoeiro em campo não é muito comum. Esses sintomas aparecem primeiramente nas folhas mais velhas da planta pelo fato desse nutriente ser altamente móvel em seu interior (Fageria, Oliveira e Dutra, 1996; Oliveira, Araújo e Dutra, 1996), e são caracterizados por clorose internerval das folhas velhas, evoluindo para manchas necróticas castanhas, irregulares, do ápice para a parte central dos folíolos (Wilcox e Fageria, 1976).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados quatro solos de várzea: Gleí Húmico (GH), Gleí Pouco Húmico (GP), Aluvial (A) e Orgânico (O) artificialmente drenado, coletados na camada superficial (0 - 20 cm), em uma única várzea não sistematizada no município de Lavras, MG.

3.1 Delineamento experimental e condução do experimento

Inicialmente, amostras de quatro kg dos solos foram corrigidas pela aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 p.a, na relação equivalente de Ca:Mg de 4:1. As doses foram estabelecidas por curva de incubação para elevar a saturação por bases a 50%.

Após a incubação dos solos por 30 dias com umidade de 60% do volume total de poros (VTP), os mesmos foram secos ao ar e analisados quanto aos seus atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 1).

A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta (Day, 1965) após queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio concentrado, empregando-se NaOH 1 mol L^{-1} , como dispersante químico e agitação rápida. Para a densidade do solo utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Blake (1965), e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, com álcool etílico (EMBRAPA, 1997). A superfície específica foi determinada pelo método do etileno-glicol-monoetil-éter (EMEG) de Heilman et al. (1965), óxidos pelo ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5) e pH em água, Ca, Mg, Al, P e K determinados conforme Vettori (1969) com modificações da EMBRAPA (1997), em que Ca, Mg e Al foram extraídos KCl 1 mol L^{-1} e P e K pelo Mehlich 1 (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,025 \text{ mol L}^{-1}$). Também foram realizadas as determinações da acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico, conforme Raij et al. (1987).

Na fração argila foram quantificadas caulinita e gibbsita através de análise termo-diferencial (ATD) e óxidos de ferro livre totais (Fe_d), usando o ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), estabelecidos sempre com base no volume de solo (Mehra e Jackson, 1960).

Com base nas análises químicas, foram estabelecidas as doses de potássio a serem aplicadas aos solos para atingir 4, 6, 8 e 10% da CTC a pH 7,0 dos mesmos (saturação por K da CTC potencial).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro solos de várzea (GH, GP, A e O) e cinco níveis de saturação por K da CTC potencial (natural, 4, 6, 8 e 10%), com quatro repetições. As doses de K necessárias para atingir 4, 6, 8 e 10% da CTC potencial, foram : 28,1, 112,3, 196,6 e 280,8 mg dm⁻³ de K, respectivamente para o solo O; 78,0, 187,2, 296,4 e 405,6 mg dm⁻³ de K, para o solo GH; 46,0, 92,4, 138,8 e 185,3 mg dm⁻³ de K, para o solo GP e 59,9, 126,4, 195,9 e 265,2 mg dm⁻³ de K, para o solo A. No tratamento sem adição de K, as plantas foram cultivadas com a saturação por K natural de cada solo, que corresponderam a 3,3, 2,6, 1,9 e 2,4% para os solos O, GH, GP e A, respectivamente, valores calculados com os dados dos teores de K e da CTC potencial apresentados na Tabela 1.

Juntamente com os níveis de K referentes aos tratamentos, foi aplicada uma adubação básica de semeadura 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 mg de Zn por dm³ de solo, na forma de reagentes p.a.: KNO₃, KH₂PO₄, K₂SO₄, H₃PO₄, NH₄NO₃, NH₄H₂PO₄, Ca(H₂PO₄)₂, H₃BO₃, CuSO₄, ZnSO₄ e (NH₄)₂SO₄.

Em seguida, as amostras de quatro kg permaneceram em incubação por mais 30 dias com umidade mantida a 60% do VTP. No final desse período, subamostras de um kg de cada vaso foram retiradas para análises químicas e os três kg restantes foram colocados em vasos com capacidade de quatro dm³ para o cultivo com plantas de feijoeiro que constituíram as unidades experimentais.

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

Químicos												
Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
		-mg dm ⁻³ -			mmol dm ⁻³				%			
O	5,8	5,0	140	32	10	2	63	45	47	108	4	43
GH	6,2	8,0	143	44	13	1	79	61	120	140	2	44
GP	6,0	4,0	45	13	6	3	40	20	22	59	11	34
A	6,1	2,0	83	37	19	0	32	57	57	89	0	64

Físicos								
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Matéria orgânica	Ds	Dp	Superfície específica
	g kg ⁻¹				g cm ⁻³		m ² g ⁻¹	
O	0	120	570	310	37	0,64	2,15	180,7
GH	9	230	391	370	243	0,40	1,81	334,6
GP	30	611	179	180	33	1,05	2,66	120,8
A	0	179	471	350	42	0,76	2,77	137,4

Mineralógicos ¹										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe _d	Fe _o	Ct	Gb	Ki
	g kg ⁻¹									
O	243,4	247,1	42,8	7,3	0,48	5,3	0,50	120,5	57,4	1,67
GH	126,1	175,5	13,3	5,5	1,52	2,3	0,56	48,2	53,0	1,22
GP	84,2	112,2	13,0	6,2	0,10	1,8	0,59	64,9	19,0	1,28
A	209,3	221,1	74,5	9,3	0,51	12,3	0,48	143,4	48,6	1,61

¹ Fe_d - ferro ditionito; Fe_o - ferro oxalato; Ct - caulinita; Gb - gibsitita; Ki - relação molecular sílica/alumina; SiO₂ - óxido de silício; Al₂O₃ - óxido de alumínio; Fe₂O₃ - óxido de ferro; TiO₂ - óxido de titânio; P₂O₅ - óxido de fósforo.

Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo - UFLA

Durante o período experimental conduziram-se quatro plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca - MG) e a umidade dos solos foi mantida a 60% do VTP através da pesagem diária dos vasos, usando-se água desmineralizada. Também foram efetuadas coberturas nitrogenadas com NH₄NO₃, aplicando-se 175 mg de N por dm³ para a dose zero de K e 200 mg de

N por dm^3 para os demais tratamentos, parcelados em três vezes, até a época do pré-florescimento.

3.2 Formas de potássio no solo

Esse estudo foi realizado nas subamostras obtidas após a incubação dos solos com os tratamentos de saturação por K e da adubação básica, antes do cultivo, e em subamostras dos solos dos vasos após o cultivo do feijoeiro. As formas de K analisadas foram: potássio total (Ktot), potássio não-trocável (Knt), potássio trocável (Kt) e potássio na solução (Ksol).

Os teores de potássio total (Ktot) foram obtidos através de digestão lenta em banho de areia de 0,1 g de TFSA obtida em peneira de 0,1 mm, em béquer de teflon de 100 mL com 10 mL de HF concentrado, 1,5 mL de HClO_4 concentrado e 3 mL de HNO_3 concentrado. Após a completa evaporação dos extratores e resfriamento, foram adicionados 5 mL de água destilada e 5 mL de HCl 6 mol L^{-1} , para dissolução do resíduo. Em seguida, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada (Jackson, 1960). Para a extração do K com ácido nítrico, foram adicionados 25 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} em béquer de teflon de 100 mL contendo 2,5 g de TFSA, seguido por fervura em chapa quente por 10 minutos. O resíduo, após o resfriamento, foi filtrado em papel de filtro, utilizando-se HNO_3 0,1 mol L^{-1} , completando-se o volume para 100 mL (Knudsen et al., 1982). O potássio trocável foi determinado pelo NH_4OAc 1 mol L^{-1} pH 7,0 (Mielniczuk, 1978) e o potássio disponível pelo Mehlich 1 (EMBRAPA, 1997) e pela resina de troca iônica (Raij et al., 1987). A fração de potássio não trocável foi obtida pela diferença entre a fração extraída com HNO_3 1 mol L^{-1} por 10 minutos de fervura e aquela obtida com NH_4OAc 1 mol L^{-1} pH 7,0. O potássio da solução foi avaliado indiretamente, agitando-se 2,5 g de solo com 25 mL de CaCl_2 1 mmol L^{-1} por uma hora, deixando em repouso por duas horas, seguindo-se a

centrifugação do material e determinação da concentração do potássio em solução por fotometria de chama (Mielniczuck, 1978).

As quantidades de K consideradas liberadas de formas não prontamente disponíveis (K_{nt}) e de formas prontamente disponíveis (K_t) durante o cultivo, foram calculadas por diferença entre as quantidades iniciais e finais do nutriente nos solos, antes e após o cultivo, bem como pelo total absorvido pelo feijoeiro (Fernandes et al., 1993).

3.3 Determinação dos parâmetros da relação Q/I

Os parâmetros da relação quantidade/intensidade (Q/I) dos quatro solos de várzea foram determinados nas subamostras após a incubação com calcário, conforme metodologia descrita por Mielniczuck (1978), usando-se o CaCl₂ 1 mmol L⁻¹ como solução de referência. Em tubos de centrífuga de 50 ml, com 3 g de solo, foram adicionados 30 ml de uma solução de referência de CaCl₂ 1 mmol L⁻¹, contendo níveis crescentes de K (0,0, 0,125, 0,250, 0,500, 0,750 e 1,0 mmol L⁻¹ de K). Em outros tubos contendo 1,5, 0,8, 0,4 e 0,2 g de solo, foram adicionados 30 ml da solução de referência de CaCl₂ 1 mmol L⁻¹, sem K, para obtenção dos pontos da curva de menor intensidade de K. Todas as amostras foram analisadas em triplicata. As amostras foram agitadas por uma hora e após repouso por duas horas, foram centrifugadas, obtendo-se assim, a solução de equilíbrio, que foi analisada para K (fotometria de chama), Ca e Mg (absorção atômica).

A adsorção (ΔK positivo) ou dessorção (ΔK negativo) de potássio nos solos foram determinadas pela diferença entre a concentração do elemento nas soluções iniciais e de equilíbrio. O quociente de atividade de potássio (QAK), foi determinado pela relação de atividade de acordo com a seguinte equação: $QAK = aK^+ / (aCa^{+2} + aMg^{+2})^{0,5}$.

O coeficiente de atividade (f), para se ter a atividade do potássio ($a = f \times c_i$), foi calculado pela fórmula de Debye-Huckel, sendo considerados os íons em suas formas livres,

$$-\log f = \frac{A Z_i^2 (I)^{0,5}}{1 + B a_i (I)^{0,5}}$$

em que

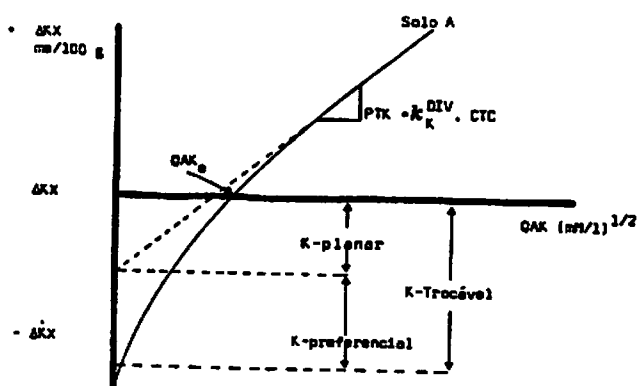
Z_i é a valência do íon, A e B são constantes dependentes da temperatura; a_i é o tamanho do íon e I é a força iônica da solução, calculada por:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2, \text{ sendo } C_i \text{ a concentração molar do íon.}$$

Os parâmetros da relação Q/I de potássio de cada solo foram determinados, a partir dos dados das concentrações de K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} em cada nível de potássio usado nas diferentes soluções de equilíbrio com os solos. Através de equações ajustadas para cada solo, foi construída “a curva” que relaciona o ΔK e o QAK e estimaram-se os valores de potássio sujeito a equilíbrio com a solução, potássio planar, preferencial, poder tampão de potássio (PTK), quociente de atividade de equilíbrio (QAKe) e concentração de K na solução do solo (Ke). Os valores de K planar, QAKe e PTK, foram obtidos através do ajuste de uma equação de regressão do tipo linear para os pontos obtidos a partir de concentrações crescentes de K na solução inicial e três g de solo. O QAKe foi considerado o ponto onde o ΔK foi igual a zero, o K planar como sendo o intercepto da curva ao eixo ΔK , ou seja, quando QAK=0 e o PTK pela declividade da reta.

Para se obter o potássio sujeito ao equilíbrio com a solução, ajustou-se uma equação de regressão do tipo quadrática aos pontos obtidos sem adição de

K na solução inicial e com redução na quantidade de solo (1,5; 0,8; 0,4 e 0,2 g de solo), sendo o valor do K sujeito a equilíbrio o valor quando $QAK=0$, ou seja, o intercepto da região curva da figura ao eixo ΔK . Pela diferença entre o K planar e o K sujeito ao equilíbrio com a solução, obteve-se o K preferencial. A concentração de equilíbrio de K na solução do solo foi obtida multiplicando-se o valor de QAK_e pela atividade de $(Ca^{+2} + Mg^{+2})^{0,5}$.



3.4 Variáveis analisadas

Na época do pleno florescimento, amostrou-se uma folha recém-madura de cada planta (4 folhas por vaso), para a determinação dos teores de potássio no tecido foliar. No final do ciclo todas as plantas foram colhidas, separando-se a parte aérea em folhas, hastes, vagens e grãos. Após secagem em estufa a 65 - 70° C, foi obtida a matéria seca dessas partes. O número de vagens por planta e o número de grãos por vagem também foram avaliados. Todo o material vegetal foi analisado quimicamente para o K através da digestão nítrico-perclórica e determinação no extrato por fotometria de chama (Malavolta et al., 1997).

As quantidades de K extraídas dos solos e acumuladas na parte aérea, bem como nos grãos, foram calculadas com base no teor do mesmo nos tecidos e na produção de matéria seca de cada parte.

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão utilizando o programa estatístico SAEG. Através do ajuste de equações de regressão entre a produção de grãos e as saturações por K da CTC potencial estabelecidas nos tratamentos, foram estimadas as saturações por K necessárias para atingir a produção máxima, 90% da máxima em cada solo. Substituindo-se esses valores nas equações que relacionam o K disponível nos solos pelos extratores Mehlich 1 e resina em função das saturações por K estabelecidas nos tratamentos, estimaram-se os níveis críticos de K disponível para 90% da produção máxima (inferior) para os diferentes solos. Da mesma maneira, estimaram-se os níveis críticos inferiores de K nos tecidos das folhas do feijoeiro, coletadas na época do florescimento, pela substituição das saturações por K para 90% da produção máxima de grãos, nas equações de regressão que relacionaram as saturações por K com os teores de K nas folhas do feijoeiro na época do florescimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Potássio do solo

As formas de potássio e a contribuição percentual de cada forma para o K total dos solos estão apresentados na Tabela 2. Com relação ao potássio total (K_{tot}), observa-se que os teores diferiram entre os solos estudados, variando de 1039,8 mg dm⁻³ no Gleí Húmico (GH) a 9369,8 mg dm⁻³ no Orgânico (O). Prezotti e Defelipo (1987), trabalhando com várias classes de solos do Estado de Minas Gerais, também encontraram uma ampla variação para os teores de K total.

TABELA 2. Teores de Ktotal (Ktot), K não trocável (Knt), K trocável (Kt), K solução (Ksol) e K disponível pelos extratores Mehlich 1 (K-M1) e Resina (K-Res) para os quatro solos de várzea após a incubação com calcário, na dose zero de K aplicado (média de 4 repetições).

Solo	Ktot	Knt	Kt	Ksol	K-M1	K-Res
	-----mg dm ⁻³ -----					
O	9369,8	95,9 (1,0) ¹	108,3 (1,2)	104,1 (1,1)	136,2 (1,5)	118,5 (1,3)
GH	1039,8	65,3 (6,3)	115,8 (11,1)	102,6 (9,9)	111,2 (10,7)	105,5 (10,2)
GP	1123,1	23,6 (2,1)	24,1 (2,2)	36,9 (3,3)	44,5 (4,0)	33,7 (3,0)
A	8481,3	237,6 (2,8)	64,7 (0,8)	69,0 (0,8)	90,0 (1,1)	73,0 (0,9)

¹ número entre parênteses representa a contribuição percentual de cada fração de K para o Ktot.

Exceto para o solo Aluvial (A) em que o K não trocável (Knt) foi a fração que mais contribuiu para o Ktot, os teores mais elevados de Ktot parecem estar ligados aos teores mais elevados das frações trocável e disponível. No entanto, para o solo GH e GP, a participação elevada dessas formas de K mais prontamente disponíveis (K trocável e disponível) para o Ktot, não indica elevados níveis do nutriente no solo, pois, na verdade, essa contribuição está relacionada aos teores relativamente baixos obtidos para o Ktot desses solos.

Para o Knt, observaram-se grandes diferenças entre os solos, sendo os maiores valores observados para os solos O e A, sugerindo, nesse caso, que essa forma de reserva de potássio está relacionada com os teores mais elevados de silte (Tabela 1) e Ktot (Tabela 2) desses solos. Deve-se ressaltar que nos solos O, GH e GP a fração não trocável de K é até mesmo inferior àquela trocável, indicando que a extração com HNO₃ 1 mol L⁻¹ a quente pode não ser o melhor método para avaliar a reserva de potássio em certos solos. Esse comportamento provavelmente é um dos motivos pelo qual a classificação do K do solo em trocável e não trocável, em determinadas situações, não se tem mostrado adequada (Fernandes et al., 1993).

A menor capacidade de extração de potássio pelo HNO_3 1 mol L^{-1} a quente em comparação ao acetato de amônio, pode estar relacionada à presença de micas resistentes ao intemperismo na fração argila. Conforme Rich (1968), essas micas podem, no processo de intemperização conter ilhas de hidróxi-Al entrecamadas, as quais sob condições de pH mais elevado, como no caso do acetato de amônio, são precipitadas, ocorrendo assim a extração do K presente nas entrecamadas. Em solos de Minas Gerais, Prezotti e Defelipo (1987) constataram que extratores ácidos utilizando H_2SO_4 concentrado na relação ácido:água de 1:2,5 e 1:25, apresentavam uma menor capacidade de extração de K do que o NH_4OAc 1mol L^{-1} pH 7,0, mas não observaram o mesmo comportamento em relação ao HNO_3 1 mol L^{-1} a quente, o que provavelmente ocorreu em função das diferenças nos atributos mineralógicas dos solos estudados e as concentrações dos ácidos utilizados. Mielniczuk (1978) também relata vários trabalhos em que os valores do K trocável foram superiores àqueles extraídos com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente.

Tem sido demonstrado que o potássio não trocável no solo desempenha uma importante função na nutrição mineral das plantas, pois essa fração pode ser absorvida pelos vegetais (Lana e Neves, 1994; Melo et al. 1995; Silva et al., 1995), fazendo com que, em determinados solos, a omissão da adubação potássica não ocasione redução na produção (Rosolem, Bessa e Pereira, 1993; Mengel e Ramahtullah, 1994).

Mesmo sendo considerada, como não trocáveis, frações de potássio mais facilmente disponíveis parecem estar associadas ao Knt. Na verdade, a maior parte do K extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente é constituída por frações retidas com menor energia de ligação, como o Kt.

Os quatro solos estudados apresentaram concentrações de potássio na solução de equilíbrio (Ksol) acima de 11,7 mg dm^{-3} (Tabela 2), concentração esta considerada como suficiente para o desenvolvimento vegetal (Raij, 1981).

Esse mesmo comportamento foi observado na maioria das amostras superficiais de solos da Paraíba (Chaves e Kinjo, 1987), e também em vários solos de Minas Gerais (Prezotti e Defelipo, 1987). Por outro lado, com exceção do GH, a baixa CTC efetiva dos solos do presente estudo (Tabela 1) favorece a manutenção de quantidades de K na solução do solo bastante superiores àquela considerada ideal, como pode ser observado pela significativa participação dessa fração para o K_{tot} , principalmente para os solos GH e GP. No entanto, baixa CTC do solo GP (Tabela 1), esse apresenta maior susceptibilidade a perdas de K por lixiviação em relação aos demais.

Os valores de K disponível pelos extratores Mehlich 1 e resina foram muito próximos (Tabela 2), apresentando um coeficiente de correlação (r) de 0,99 ($P < 0,01$) para os solos em estudos. Esses resultados sugerem que o K ocupe, no complexo, posição de troca acessível aos dois extratores testados. Se um teor de potássio disponível de 80 mg dm^{-3} , pelo Mehlich 1, for considerado como o nível crítico para a maioria das culturas (Comissão..., 1989), apenas o GP apresentaria teores de potássio em níveis abaixo do adequado (Tabela 2). Esse comportamento é esperado, visto que esse solo apresenta baixa CTC efetiva e baixos teores de silte e argila (Tabela 1), os quais influenciam as quantidades disponíveis e trocáveis desse nutriente.

A Figura 1 apresenta as curvas da relação Q/I obtidas para cada solo de várzea estudado. Os parâmetros da relação Q/I são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que o solo GP apresentou praticamente todo o seu potássio sujeito a entrar em equilíbrio com a solução ($K_{\text{planar}} + K_{\text{preferencial}}$), adsorvido na posição preferencial de adsorção ($K_{\text{preferencial}}$), o que explica sua menor quantidade de K em solução (Tabela 2), uma vez que o K adsorvido na posição planar (K_{planar}) é o responsável imediato pela manutenção do K em solução. Já os solos O e GH apresentaram quantidades praticamente semelhantes de K sujeito a entrar em equilíbrio com a solução; no entanto, o solo O apresentou

maior teor de K planar. Dessa forma, embora as quantidades de K na solução do solo sejam praticamente semelhantes (Tabela 2), com o esgotamento dessa forma de K pelo cultivo ou por lixiviação, imediato, o solo O tem maior capacidade de manter maior concentração em solução do solo em relação ao GH, sendo que os valores de K_e corroboram para essa afirmativa.

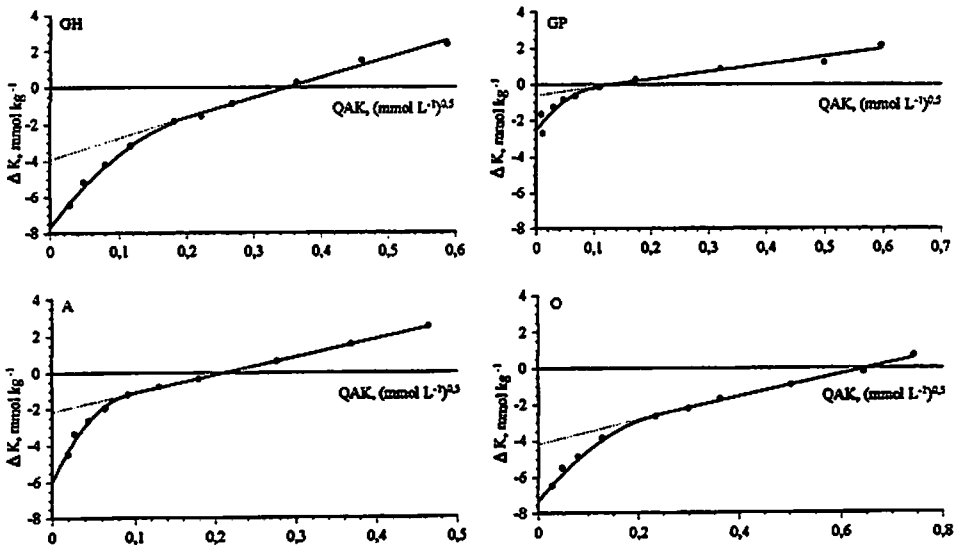


FIGURA 1. Curvas representativas da relação Q/I de potássio dos solos Glei Pouco Húmico (GP), Orgânica (O), Glei Húmico (GH) e Aluvial (A).

TABELA 3. Potássio sujeito ao equilíbrio, planar e preferencial, quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), concentração de equilíbrio de K na solução do solo (Ke) e poder tampão de K (PTK) de quatro solos de várzea.

Solo	K ⁺ em equilíbrio com a solução	K planar	K preferencial	QAKe	Ke	PTK
	mmol kg ⁻¹	mmol kg ⁻¹	mmol kg ⁻¹	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	mmol L ⁻¹	$\frac{(\text{mmol kg}^{-1})}{(\text{mmol L}^{-1})^{0,5}}$
O	7,3	4,1	3,2	0,65	0,77	6,3
GH	7,7	3,8	3,9	0,35	0,43	11,0
GP	2,5	0,6	1,9	0,13	0,17	4,2
A	6,0	2,1	3,9	0,21	0,31	9,9

Segundo Chaves e Kinjo (1987), apesar do reabastecimento da solução do solo em potássio ser maior quando este encontra-se em posições mais facilmente trocáveis (K planar), nesses solos, há um esgotamento mais rápido do K da fase sólida com a lixiviação e absorção pelas plantas desse nutriente que se encontra em solução. Para fins de maximização da adubação potássica, é interessante que uma parte do K fique adsorvido em posições preferenciais de adsorção.

O conhecimento da quantidade de potássio que está adsorvido na posição planar ou na posição preferencial, é de grande importância, quando se fazem comparações dos solos em relação à disponibilidade de potássio para as culturas. Tomando-se por base apenas os teores de potássio trocáveis determinados pelos métodos tradicionais, quanto maior o teor de potássio trocável no solo, mais potássio será mantido na solução do solo; no entanto, tal afirmativa nem sempre será verdadeira em função da posição em que se encontra o K sujeito a equilíbrio (Chaves e Kinjo 1987).

Os valores de quociente de atividade de equilíbrio (QAKe), que representam a relação de atividade do potássio e cálcio mais magnésio presentes

na solução de equilíbrio, e os valores de atividade de potássio na solução do solo (K_e), que constituem o teor de potássio na solução no momento do equilíbrio, apresentaram uma ampla variação entre os solos estudados (Tabela 3).

Os menores valores de QAK_e e K_e foram observados para o solo GP. Além disso, pode-se constatar que esse solo tem um menor poder tampão de potássio (PTK) em relação aos demais solos, o que é conferido pelos seus teores mais baixos de K trocável e em solução (Tabela 2) que se encontram em equilíbrio dinâmico. Portanto, as adubações potássicas nesse solo deverão ser feitas em doses menores e mais freqüentes de forma a minimizar as perdas de potássio por lixiviação e até mesmo o consumo de luxo pelas plantas. Por outro lado, para o solo GH que possui o maior PTK, as adubações poderão ser feitas em doses maiores e mais espaçadas, visto que possuem uma maior capacidade de repor o K em solução.

O solo O, embora possua maior quantidade de K planar (Tabela 3) e uma concentração de potássio em solução praticamente semelhante ao GH (Tabela 2), tem um menor poder tampão, indicando que se o potássio for absorvido da solução do solo pelas plantas, a médio e longo prazo, a capacidade de repô-lo será reduzida, de modo que se nenhuma aplicação for feita, os cultivos sucessivos poderão sofrer deficiência desse nutriente. Segundo Goedert et al. (1975), em solos que apresentam baixo PTK, o potássio é facilmente liberado para a solução do solo, e, como conseqüência, esses solos serão facilmente esgotados se submetidos a cultivos intensivos.

De acordo com os resultados obtidos, os solos estudados diferem quanto à capacidade de fornecer K às plantas, e também requerem técnicas distintas com relação ao manejo da adubação com esse nutriente. Fica evidente, deste modo, a importância da adoção de práticas que visem aumentar a capacidade de retenção de K nesses solos.

4.2 Aproveitamento das formas de potássio do solo pelo feijoeiro

Na Tabela 4 são apresentados os teores de K dos solos nas suas diferentes formas, após a aplicação dos tratamentos e antes do cultivo. Com aumento das doses de K estabelecidas nos tratamentos de saturação, de maneira geral, aumentaram também os teores de K de todas as formas avaliadas.

Com relação ao K trocável (Tabela 4), como já era esperado, os maiores teores foram encontrados para os solos O e GH que possuem CTC potencial mais elevada (Tabela 1), pois estes necessitam de uma maior quantidade de K para atingir a mesma saturação por este nutriente. Os teores de K na solução (K_{sol}) dos solos apresentaram a mesma tendência observada para K trocável.

Na Tabela 5 são apresentados os teores médios de K_t , K_{nt} , K total liberados durante o cultivo ($K_t + K_{nt}$ liberado) e o K absorvido pelo feijoeiro. Os valores de potássio trocável e não trocável liberados durante o cultivo, foram obtidos através da subtração entre os valores iniciais (Tabela 4) e finais (Tabela 5) de cada forma.

Através dos resultados de potássio liberado (Tabela 5), pode-se observar que houve uma variação bastante grande entre os solos estudados quanto a capacidade de liberação de K das formas trocáveis e não trocáveis durante o cultivo do feijoeiro.

Observa-se, ainda, que em todos os solos estudados, a quantidade de potássio liberada durante o cultivo para alguns níveis de saturação, não foi suficiente para atender a demanda por K da planta (Tabela 5), ocasionado deste modo em uma maior quantidade absorvida do que liberada, fato este também observado por Nachtigall e Vahl (1989) e Fernandes et al. (1993). Segundo esse último autor, isto se deve a presença de formas de K não extraídas pelo HNO_3 participando do processo. No entanto, como na fração argila desses solos o mineral predominante é caulinita (Tabela 1), é possível que minerais da fração silte ou areia fina estejam participando do processo (Munn et al., 1976), ou ainda

que existam ligações de K no solo não consideradas na descrição clássica (K solúvel, trocável, não trocável, total e mineral) do seu comportamento no solo (Fernandes et al., 1993).

TABELA 4. Teores médios de Ktotal (Ktot), K não trocável (Knt), K trocável (Kt), K solução (Ksol), K Mehlich 1 (K-M1) e K Resina (K-Res) antes do cultivo para os quatro solos de várzea.

Solo	Trat (%)	Ktot	Knt	mg dm ⁻³			
				Kt	Ksol	K-M1	K-Res
O	0	9369,8	95,9	108,3	104,1	136,2	118,5
	4	9203,2	98,6	138,8	119,1	158,0	147,7
	6	9578,1	131,3	198,4	177,3	218,7	209,2
	8	9911,3	163,5	251,0	230,4	278,2	292,0
	10	10119,5	215,2	305,1	275,2	338,0	372,5
GH	0	1039,8	65,3	115,8	102,6	111,2	105,5
	4	1289,7	94,9	180,4	170,6	166,5	169,7
	6	1373,0	164,7	270,5	212,4	244,7	259,0
	8	1456,3	221,1	369,7	265,5	331,7	350,2
	10	1581,3	246,0	473,3	408,8	399,2	434,5
GP	0	1123,1	23,6	24,1	36,9	44,5	33,7
	4	1317,5	39,6	48,2	51,8	87,7	76,5
	6	1484,1	51,4	70,7	76,5	132,5	115,0
	8	1456,3	57,8	88,7	106,4	167,2	149,5
	10	1456,3	79,3	124,8	139,2	223,7	268,2
A	0	8481,3	237,6	64,7	69,0	90,0	73,0
	4	8203,6	281,4	96,3	98,1	137,2	113,5
	6	8037,0	274,4	144,3	140,7	193,7	178,7
	8	8536,8	285,1	189,4	180,3	245,2	220,7
	10	8453,5	322,0	246,5	197,5	294,7	268,2

TABELA 5. Teores médios 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 liberado total	K absorvido
		Final	Liberado	Final	Liberado		
	(%)	mg dm ⁻³	mg vaso ⁻¹	mg dm ⁻³	mg vaso ⁻¹		
O	Natural	24,6(77)*	251,0	63,0(34)*	98,6	349,6	428,4(122)**
	4	38,3(72)	301,6	63,1(36)	106,6	408,2	471,4(115)
	6	48,1(76)	450,9	71,2(46)	179,0	624,9	656,9(104)
	8	71,2(71)	539,2	62,4(62)	303,1	842,3	790,4(94)
	10	104,2(66)	602,6	67,4(69)	443,5	1046,1	869,4(83)
GH	Natural	36,2(69)	238,8	16,0(76)	147,9	386,7	357,8(92)
	4	42,1(77)	414,7	22,2(77)	218,4	633,1	716,9(113)
	6	76,2(72)	583,1	40,0(76)	377,0	960,1	1033,9(107)
	8	89,5(76)	840,5	48,9(78)	516,6	1357,1	1293,5(95)
	10	134,2(72)	1017,4	110,9(55)	405,1	1422,5	1402,9(98)
GP	Natural	11,4(53)	38,3	16,9(28)	20,3	55,2	152,8(277)
	4	14,8(69)	100,2	20,0(49)	59,0	159,2	260,7(163)
	6	23,2(67)	142,5	18,0(65)	100,0	242,5	304,0(125)
	8	35,6(60)	159,5	11,1(81)	140,1	299,6	437,6(146)
	10	46,4(63)	235,3	23,5(70)	167,5	402,8	536,1(133)
A	Natural	20,8(68)	131,9	176,1(26)	184,7	316,6	241,2(76)
	4	32,4(66)	191,5	175,4(38)	318,1	509,6	377,3(74)
	6	45,6(68)	296,0	177,0(36)	292,2	588,2	531,3(90)
	8	53,0(72)	409,1	188,2(34)	290,5	699,6	751,2(107)
	10	62,8(75)	550,9	204,9(36)	351,3	902,2	829,0(92)

*número entre parênteses representa a redução do K inicial em porcentagem com o cultivo

**número entre parênteses representa a porcentagem do K absorvido em relação ao K liberado total

Pela correlação positiva obtida entre a quantidade de potássio trocável inicial e a de potássio trocável liberado (Tabela 6), verificou-se que quanto

4.3 Produção do feijoeiro

A análise de variância para matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL) e número de grãos por vagem (GRVG) mostrou que os tratamentos (solos e saturação por K) influenciaram significativamente tais variáveis, enquanto que a interação saturação x solos só não foi significativa para a variável GRVG (Tabela 1A). Apesar de os solos estudados apresentarem teores médios a altos de K (Tabela 2), as plantas responderam significativamente à sua aplicação, embora alguns trabalhos mostrem não haver

**, * e ns significativo ao nível de 1, 5% e não significativo, respectivamente.

	Kt inicial	Kt final	Kt liberado	Kmt inicial	Kmt final	Kmt liberado	Abs. K	MSGR
Kt inicial	-	0,97**	0,99**	0,52**	0,16ns	0,85**	0,87**	0,79**
Kt final	-	-	0,95**	0,50**	0,14ns	0,84**	0,87**	0,72**
Kt liberado	-	-	-	0,51**	0,16ns	0,84**	0,86**	0,81**
Kmt inicial	-	-	-	-	0,90**	0,76**	0,52**	0,28 ^m
Kmt final	-	-	-	-	-	0,40*	0,21ns	-0,04 ^m
Kmt liberado	-	-	-	-	-	-	0,78**	0,64**
K abs.	-	-	-	-	-	-	-	0,80**

TABELA 6. Coeficientes de correlação entre K trocável (Kt) inicial, final e liberado; K não trocável (Kmt) inicial, final e liberado; K absorvido (K abs) e matéria seca de grãos (MSGR).

maior o teor inicial de potássio trocável, maior foi sua disponibilidade para as plantas. Considerações semelhantes podem ser feitas ao potássio não trocável inicial que também se correlacionou positivamente com a quantidade de potássio não trocável liberada (Tabela 6).

resposta das plantas à adubação potássica em solos com teores médios do elemento (Moraes, 1988; Rosolem, 1987).

4.3.1 Produção de matéria seca de grãos e níveis críticos de K nos solos

As equações quadráticas e base raiz quadrada foram as que melhor explicaram a produção de matéria seca de grãos para os solos, exceto para o GP, em que as plantas tiveram uma resposta linear à aplicação de K (Figura 2).

As menores produções de MSGR observadas no tratamento sem aplicação de K, não foram acompanhadas por sintomas de deficiência do nutriente nas plantas, e a tendência de redução da produção nas maiores saturações para os solos GH, A e O, deveu-se, certamente, ao excesso do elemento aplicado. No solo GP, a resposta linear à aplicação de K mostra que as saturações foram insuficientes para se atingir a produção máxima. Andrade (1997) verificou que o K, juntamente com o boro e o fósforo, foram os nutrientes que mais limitaram a produção do feijoeiro cultivado nos mesmos solos de várzea do presente trabalho, sendo que a omissão do K na adubação dos solos reduziu em mais de 50% a produção de MSGR.

Em função da pequena diferença entre os extratores quanto aos valores médios de K extraídos (Tabela 2) e a estreita correlação entre eles $r=0,99$ ($P<0,01$), além da produção de grãos do tratamento sem aplicação de K (saturação natural) apresentar correlação significativa com os teores de K extraídos pelo Mehlich 1 $r=0,99$ ($P<0,01$) e resina $r=0,99$ ($P<0,01$), poder-se-ia sugerir o uso de qualquer um deles para a avaliação da fertilidade de solos semelhantes aos do presente estudo.

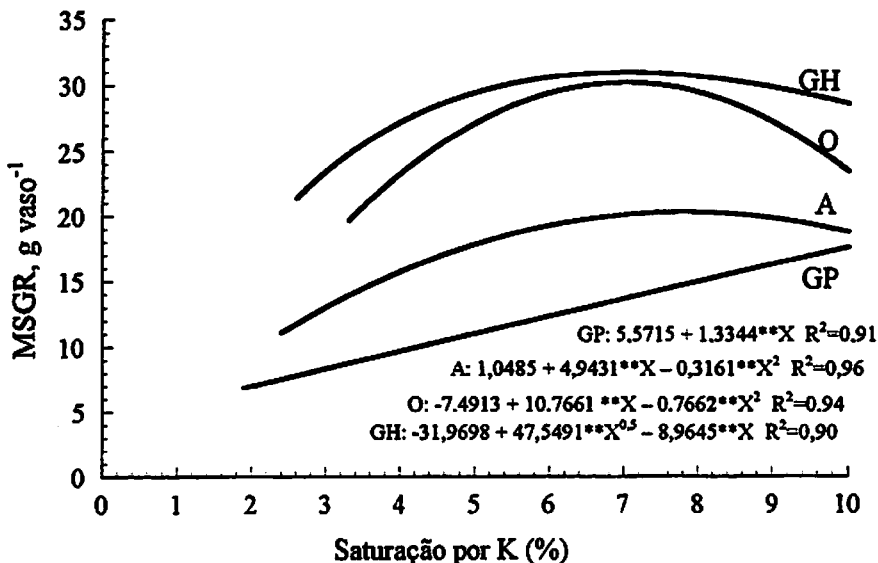


FIGURA 2. Produção de matéria seca de grãos (MSGR) pelo feijoeiro em função da saturação por K da CTC potencial dos solos de várzea. (** significativo ao nível de 1%)

A partir das equações apresentadas na Figura 2, estimaram-se as produções de MSGR e as saturações por K correspondentes à produção máxima, 90% da produção máxima (nível crítico) (Tabela 7). No solo GP, que apresentou relação linear entre a saturação por K e a MSGR, considerou-se como máxima a produção obtida na maior saturação do nutriente estabelecida no tratamento 10% da CTC ocupada por K. O índice de 90% da produção máxima representa a máxima eficiência econômica (Alvarez V. et al., 1988; Malavolta et al., 1997; Spencer e Glendinning, 1980).

Dentro de cada índice de produção estabelecido, observa-se uma grande variação dos valores estimados para a saturação por K, entre os solos estudados (Tabela 7). No índice de 90% da produção máxima, a menor saturação por K observada para o solo GH, 4,1% (Tabela 7), é justificada pelos maiores

incrementos na produção com as primeiras doses de K (saturações), o que resultou num ajuste do modelo raiz quadrática aos dados (Figura 2). Da mesma maneira, justifica-se o alto valor para a saturação de K no solo GP, 8,7% (Tabela 7), devido ao ajuste linear dos dados (Figura 2).

As saturações por K para 90% da máxima produção de MSGR (nível crítico) correspondem a 71, 59, 87 e 68% da saturação para a máxima produção, para os solos O, GH, GP e A, respectivamente. Essa grande redução na participação do nutriente na CTC é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção, representando, deste modo, uma economia com a adubação e afetando de maneira positiva a relação custo/benefício.

TABELA 7. 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 ⁻¹)		Saturação por K (%)	
	90%	máxima	90%	Máxima
O	27,3	30,3	5,0(71) ⁽¹⁾	7,0
GH	28,0	31,1	4,1(59)	7,0
GP	15,9	17,7	8,7(87)	10,0
A	18,4	20,4	5,3(68)	7,8

⁽¹⁾ representa a porcentagem em relação a saturação máxima, necessária para atingir 90% da máxima produção

A partir das equações das Tabelas 8 e 9, estimaram-se os teores de K disponível pelos extratores de Mehlich 1 e resina e as doses de K aplicadas aos solos, correspondentes à produção máxima, 90% da máxima (nível crítico), respectivamente.

Interessante observar que para a obtenção de 90% da produção máxima, os teores de K disponível, tanto pelos extratores Mehlich 1 quanto pela resina,

não apresentaram grande variação entre os solos (Tabela 8). Mas, para esse mesmo nível de produção, as saturações por K da CTC potencial, proporcionalmente, variaram mais, de 4,1 a 8,7% (Tabela 7), bem como as doses de K aplicadas para atingir essas saturações, 83 a 155 mg dm⁻³ (Tabela 9).

TABELA 8. Equações de regressão ajustadas para o K disponível pelos extratores Mehlich 1 e Resina (Y em mg dm⁻³) em função da saturação por K da CTC potencial (X em %).

Solo	Equação	R ²	Teores de K (mg dm ⁻³)	
			90%	Máxima
Mehlich 1				
O	Y= 37,5525 + 30,0795**X	0,99	188	248
GH	Y= 9,4681 + 39,4170**X	0,99	171	285
GP	Y= 0,6319 + 21,7893**X	0,99	190	218
A	Y= 28,5234 + 26,9206**X	0,99	171	238
Resina				
O	Y= -0,8549 + 37,3410**X	0,99	186	260
GH	Y= -9,0236 + 44,5790**X	0,99	173	303
GP	Y= 0,9129 + 19,4469**X	0,99	170	195
A	Y= 13,3904 + 25,8980**X	0,99	150	215

** significativo ao nível de 1%

Na Tabela 1, observa-se que em ordem decrescente, os solos apresentaram a seguinte seqüência de valores da CTC potencial (T): GH, O, A e GP. Na Tabela 7, verifica-se que a magnitude dos valores da saturação por K para se atingir 90% da produção máxima, seguiu uma ordem perfeitamente inversa. Ou seja, para esse nível de produção, para se obter o teor disponível de K adequado nos solos, a saturação por K varia com a CTC potencial dos mesmos, sendo tanto maior quanto menor for a T. Assim, a recomendação de adubação potássica, objetivando atingir determinada faixa de saturação da CTC

pelo nutriente, não pode ser generalizada para todos os solos e culturas. Neste caso, seria necessário estabelecer classes de valores de CTC, com recomendação específica de adubação potássica para cada classe visando a atingir os valores ideais de saturação por K para determinada cultura. De acordo com Cope e Rouse (1973), esse procedimento é adotado no Alabama (EUA), onde os solos são divididos em três grupos segundo o valor da capacidade de troca de cátions.

TABELA 9. Equações de regressão ajustadas para o potássio disponível pelos extratores Mehlich 1 e Resina (Y em mg dm^{-3}) em função das quantidades de K aplicadas aos solos (X em mg dm^{-3})

Solo	Equação	R ²	Doses de K (mg dm^{-3})	
			90%	máxima
Mehlich-1				
O	Y= 137,3640 + 0,7173** X	0,99	70	154
GH	Y= 111,4450 + 0,7199** X	0,99	83	241
GP	Y= 43,6961 + 0,9454** X	0,99	155	184
A	Y= 91,7121 + 0,7760** X	0,99	102	180
Resina				
O	Y= 123,0490 + 0,8991** X	0,99	70	152
GH	Y= 106,3070 + 0,8142** X	0,99	82	241
GP	Y= 39,3247 + 0,8440** X	0,99	155	184
A	Y= 74,2206 + 0,7462** X	0,99	99	189

** significativo ao nível de 1%

Silva e Meurer (1988) e Meurer e Anghinoni (1993), em solos do Rio Grande do Sul, obtiveram ótimas relações entre a percentagem de saturação por K e o K absorvido pelas plantas, quando os solos foram agrupados em classes de CTC. Segundo os últimos autores, os métodos atuais de análise para K (Mehlich 1 e $\text{NH}_4\text{Ac } 1 \text{ mol L}^{-1}$), apresentam limitações para avaliar a disponibilidade quando se trata de grupos de solos heterogêneos, podendo-se aqui incluir as

diferentes classes de solos de várzea, como se observa na Tabela 1. Afirmam, ainda, que melhorias na recomendação de adubação potássica podem ser obtidas quando se consideram os atributos do solo relacionados aos fatores capacidade e intensidade, que estão diretamente relacionados com a difusão de K até a superfície das raízes, como é o caso da CTC.

Os resultados apresentados na Figura 2 e Tabela 7, confirmam a distinta capacidade dos solos para produção de grãos do feijoeiro. Embora as respostas das plantas às saturações por K apresentassem uma mesma tendência, a magnitude delas foi diferente entre os solos. Nos dois níveis de produção estabelecidos (90% e máxima) o solo GH foi o que alcançou a maior produção de MSGR, seguido pelos solos O, A e GP. Esta diferença no potencial produtivo apresentado pelos solos, certamente, pode ser atribuída aos atributos físicos, químicos e as interações destes em cada solo, proporcionando condições particulares para o crescimento e produção do feijoeiro.

Durante o período experimental, os solos A e O e menos intensamente o GP, apresentaram a formação de uma camada superficial endurecida nos solos, possivelmente devido ao arrançamento das partículas de solo ao longo das irrigações efetuadas, concordando com Mariano (1998), que trabalhou com esses mesmos solos. A formação dessa camada dificultava a infiltração de água e como consequência o arejamento do solo. Além disso, no solo A, notou-se a formação de rachaduras e o endurecimento de torrões quando o solo iniciava o processo de secagem. Essa movimentação do solo, aliada ao seu endurecimento, pode ter provocado estresse às plantas devido o rompimento de suas raízes, influenciando o potencial produtivo da espécie.

Com isso, o maior teor de matéria orgânica apresentado pelo solo GH, atuando como um condicionador de solo, pode ter propiciado melhores condições para o desenvolvimento das raízes, conferindo-lhe maior potencial produtivo (Tabela 7).

Tais resultados discordam dos encontrados por Andrade (1997), que em ordem decrescente apresentaram o seguinte potencial produtivo: O>GH>GP>A. Embora o autor estivesse estudando as limitações que cada solo apresenta em condições naturais de fertilidade, observou que o solo O, quando corrigido e adubado corretamente, apresentou o maior potencial para produção de feijão.

4.3.2 Número de vagens por planta e de grãos por vagem

É sabido que o potencial produtivo da planta está estreitamente relacionado com o seu estado nutricional, principalmente a nutrição com K, devido a sua participação no processo de pegamento das flores, estímulo ao enchimento de grãos e diminuição do chochamento (Malavolta et al., 1997). Apesar do número de vagens por planta e grãos por vagem serem características controladas geneticamente na planta, verificaram-se respostas significativas ($P<0,01$) à aplicação de K aos solos estudados para essas variáveis (Figura 3), mostrando que a fertilidade do solo em K, conferida através de adubação, é importante para a produção do feijoeiro nesses solos.

Como o número de vagens, por planta, está diretamente relacionado com sua produção (Santa Cecília, Ramalho e Silva, 1974), esta apresentou comportamento semelhante ao observado para a produção de MSGR (Figura 3), com exceção para os solos A e O, que apresentaram resposta linear.

O maior número de grãos por vagem foi obtido nos solos GP e GH (Tabela 10), discordando dos valores encontrados por Andrade (1997), os quais obtiveram para o solo O o maior número de grãos por vagem.

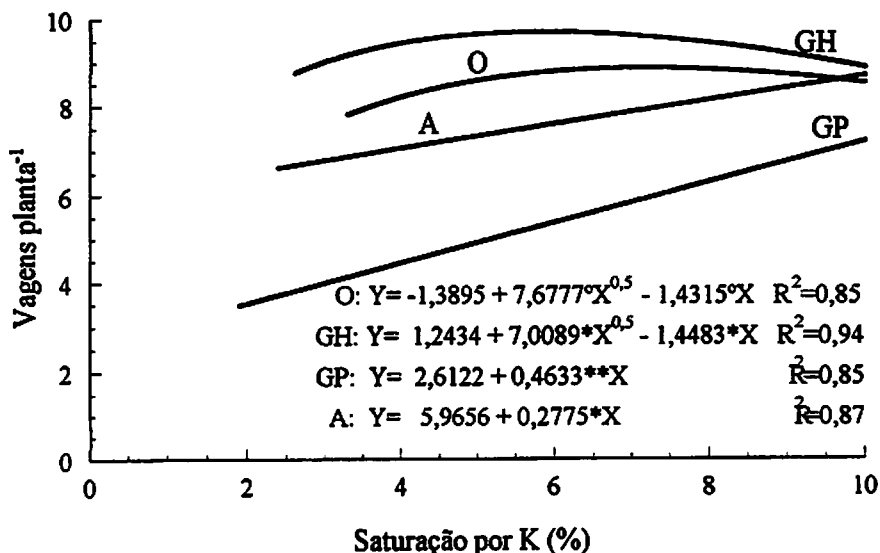


FIGURA 3. Número de vagens por planta de feijoeiro em função da saturação por K da CTC potencial dos solos de várzea. (**, * e ° significativo a 1, 5 e 10% respectivamente)

TABELA 10. Número de grãos por vagem (GRVG) do feijoeiro cultivado nos solos de várzea estudados

Solo	GRVG
O	3,03 c
GH	4,18 a
GP	4,30 a
A	3,59 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%)

4.4 Níveis críticos de K na planta

A concentração de K no tecido foliar do feijoeiro, na época do florescimento, aumentou linearmente com o aumento das saturações por K, como mostram as equações da Tabela 11. Os coeficientes lineares das equações,

que indicam o teor foliar de K na saturação natural por esse nutriente, mostram que esses solos possuem capacidade bastante diferenciada para o fornecimento desse nutriente às plantas em condições naturais de fertilidade, sendo os solos GP e A os que proporcionaram os menores teores de K no tecido foliar e, em consequência, maiores produções de grãos (Figura 2).

Substituindo-se nas equações da Tabela 11, para cada solo, as saturações por K correspondentes a 90% da MSGR máxima (Tabela 7), estimaram-se os níveis críticos foliares de K (Tabela 11).

TABELA 11. Equações de regressão ajustadas para os teores foliares de K (Y em g kg⁻¹) na época do florescimento, como variável dependente das saturações por K estabelecidas nos tratamentos (X em %) e níveis críticos (para 90% da MSGR máxima).

Solo	Equação	R ²	Níveis críticos (g kg ⁻¹)
O	Y = 11,9835 + 1,1856** X	0,87	17,9
GH	Y = 14,0477 + 4,0131** X	0,91	30,5
GP	Y = 10,5191 + 0,7203** X	0,81	16,8
A	Y = 2,7478 + 2,2385** X	0,96	14,6

** significativo ao nível de 1%

Os valores estimados de níveis críticos variaram entre os solos de várzea estudados, indicando sua dependência a alguns de seus atributos que influenciam, além da disponibilidade de K, também o crescimento das plantas. Anteriormente foi discutido que a produção de MSGR estimada para 90%, teve variação entre os solos (Tabela 7). Pode-se inferir, portanto, que os atributos dos solos influenciando o crescimento das plantas, afetam também a eficiência de utilização dos nutrientes, conferindo-lhes diferentes valores de níveis críticos na planta. Essa afirmação pode ser comprovada pelo fato dos solos GH e O

proporcionarem produção de MSGR semelhante (Tabela 7), porém com níveis críticos inferiores bastante diferentes (Tabela 11).

As plantas de feijoeiro apresentaram um maior nível crítico de K quando cultivadas no solo GH (Tabela 11) que possui o maior poder tampão desse elemento (Tabela 3). Para o fósforo, segundo Muniz et al. (1985), a facilidade de absorção desse elemento da solução que está em equilíbrio com a forma lábil, pelas plantas, é negativamente relacionada com o poder tampão deste elemento no solo. Desse modo, em solos com maior poder tampão, há uma menor extração de fósforo pelas plantas. No entanto, segundo Holford e Mattingly (1976), quando dois solos ou mais têm o mesmo fator intensidade, as plantas absorvem P em quantidade diretamente proporcional ao fator capacidade de P do solo, em virtude do maior poder de reposição do P à solução, em consequência da absorção pelas raízes. Desse modo, o maior nível crítico de K observado nas plantas cultivadas no solo GH pode ser explicado pelo fato desse solo necessitar uma maior quantidade de K para saturar o complexo de troca, possuindo, portanto, maior capacidade de repor o K na solução do solo quando esse é absorvido pelas plantas. Assim sendo, as plantas cultivadas no GH em relação as cultivadas nos demais solos do presente estudo, tinham durante todo o período de cultivo uma maior disponibilidade de K, o que justifica o maior nível crítico. Também Prezotti et al. (1988) verificaram um maior nível crítico de K em plantas de eucalipto cultivadas em solos mais argilosos, supostamente de maior poder tampão de K. Segundo os autores, quando a maior parte do K permanece em solução, esse é prontamente absorvido pelo vegetal, colaborando para um nível crítico relativamente baixo.

Os níveis críticos foliares estão abaixo das faixas críticas estabelecidas por Rosolem e Marubayashi (1994) e Malavolta et al. (1997) que citam teores foliares de K adequados para o feijoeiro, no início do florescimento, de 20 a 26 g kg⁻¹. Rajj et al. (1996) estabeleceram para todas as folhas amostradas no

florescimento, a faixa de 20 a 24 g de K kg⁻¹, enquanto que Marschener (1995) estabeleceu que a faixa entre 20 a 50 g de K kg⁻¹ é a ideal para o crescimento das plantas. A diferença entre as faixas críticas observadas e as encontradas na literatura foi devida, possivelmente, a diversos fatores como época de cultivo, método de cálculo, doses dos outros nutrientes aplicados, idade dos tecidos escolhidos para análise, época de amostragem, condições ambientais, entre outros (Faquin et al., 1995).

Não foram encontrado, na literatura valores de K nos tecidos do feijoeiro relacionados à sua toxidez. É perfeitamente sabido que a faixa de consumo de luxo, que corresponde à faixa de teores dos nutrientes nos tecidos das plantas entre o nível crítico e o nível tóxico, é bastante larga para o K.

5 CONCLUSÕES

Solos menos intemperizados (<K_i) e com maiores teores de silte (solos Orgânico e Aluvial) apresentam maiores teores das frações de K tot e K_{nt}.

Houve aproveitamento do potássio não trocável pelo feijoeiro em todos os solos de várzea estudados, mas as formas trocáveis foram as que mais contribuíram no fornecimento do nutriente à cultura;

Mesmo apresentando teores de potássio disponível classificados de médio a alto, todos os solos estudados mostraram respostas significativas em produção e grãos à aplicação do nutriente;

As saturações críticas por potássio da capacidade de troca de cátions potencial correspondentes a 90% da produção máxima foram 5,0, 4,1, 8,7 e 5,3 para os solos Orgânico, Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Aluvial, respectivamente. Esses valores correspondem, respectivamente, a 188, 171, 190 e 171 mg dm⁻³ de potássio disponível pelo extrator Mehlich-1 e a 186, 173, 170 e 150 mg dm⁻³ pela resina.

Os níveis críticos de potássio nos tecidos foliares do feijoeiro à época do florescimento, foram 17,9, 30,5, 16,8 e 14,6 mg dm⁻³ para os solos Orgânico, Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Aluvial, respectivamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.de. Identificação de deficiências de macronutrientes em três solos de várzea de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1985. 93p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ALVAREZ V., 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.
- AMARAL, F.A.L.; REZENDE, H.E.C.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MALAVOLTA, E. Exigências de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, v.37, p. 223-239, 1980.
- ANDRADE, C.A. de B. Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1997. 107p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- BASTOS, A.J. de R. Efeitos da calagem, doses de adubo e tipos de sementes utilizadas pelos pequenos agricultores na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras: ESAL, 1990. 45p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C. A. (ed.) Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 30, p. 374-390.
- BECKETT, P.H.T. Studies on soil potassium. II. The "immediated" Q/I relations of labile potassium in the soil. The Journal of Soil Science, Oxford, n.15, v.1, p. 9-23, 1964.

- BECKETT, P.H.T. & NAFADY, M.H.M. Studies on soil potassium. VI. The effect of K-fixation and release on the form of the K:(Ca + Mg) exchange isotherm. *The Journal of Soil Science.*, Oxford, v.18, p. 244-262, 1967.
- BÜLL, L.T. Formas de potássio e suas relações com parâmetros vegetais em alguns solos da região de Botucatu. Piracicaba, ESALQ/USP, 1983. 100p. (Dissertação - Mestrado)
- CHAVES, L.H.G.; KINJO, T. Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semi-árido brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.3, p. 257-261, 1987.
- COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), var. Roxinho. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba,, v.28, p. 257-274, 1971.
- COMISSÃO DE FERTILIZANTES DO ESTADO DE MINAS GERAIS **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 4ap. 1989. 112p.
- COPE, J.R. & ROUSE, R.D. Interpretation of soil test results. In: WALSH, L.M., ed. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. chap. 4, p. 23-34.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.1, p. 79-88, jan./abr. 1992.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzea de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p. 3-10, mar. 1988.(Exploração Racional de Várzea - II).
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (ed) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 13, p. 545-566.
- D' ALEJANDRO VEZ. La lucha contra las enfermedades y las plagas por métodos culturales. *Revista de la Potassa*, v.3, n.8, p. 1-8, 1986.

[REDACTED]

DUETE, W.L.C. Estudo da relação K/(Ca + Mg) e diagnose por subtração de P, S e micronutrientes em solos calcários da microregião de Irecê - BA. Piracicaba, 1995. 134p. (Tese - Doutorado)

EL-HUSNY, J.C. Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) em um solo do norte de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1992. 152p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de pesquisa, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos e análises de solos, 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (Documentos 1)

FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.; DUTRA, L.G. Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzea. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções. Goiania, 1996. p. 8-11. (EMBRAPA/CNPAF. Documento, 65).

FAGERIA, N.K; SOUZA, N.P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão á adubação em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.3, p. 359-368, mar. 1995.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: ESAL, 1994. 227p.

FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região noroeste do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, n.1, p. 87-94, jan./abr. 1995

FASSBENDER, H.W. Química de Suelos: com énfasis en suelos de América Latina. (2. Ed.). IICA, San José, Costa Rica, 1994. 420p.

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.
- GALRÃO, E.Z. Aplicação de micronutrientes e calcário no rendimento da soja em solo de várzea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p. 381-384, set./dez.1990.
- GAMA, N.V. Liberação e absorção de potássio nalguns solos. **Agronomia Lusitana.**, Oeiras - Portugal, v.29, n.1-2,p. 99-115, mar.1967.
- GIANELO, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas e físicas do solo que afetam a absorção de potássio por plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p. 109-114, 1981.
- GRIMME, H. Soil factors of potassium availability. **Indian Society of Science**, v.10, p. 3-22, 1976.
- GOEDERT, W.J.; SYER, J.K.; COREY, R.B. Relações quantidade - intensidade de potássio em solo do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.10, n.11, p. 31-35. 1975.
- GUEDES, G.A.A.; JUNQUEIRA NETTO, A. Calagem e adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.4, n.46, p. 21-23, abr. 1978.
- GUILHERME, L.R.G. Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre. **Lavras: ESAL**, 1990. 113p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.30, p. 381-391, ago. 1967.
- HAVLIN, J.L. & WESTFALL, D.G. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. **Soil Science. Society of America Journal**, Chicago, v.49, n.2, p. 366-370, mar./abr. 1985
- HEILMAN, M.D.; CARTER, D.L.; GONZALES, C.L. The ethylene glycol monoethyl ether (EMEG) technique for determining soil surface area. **Soil Science**, Baltimore, v.100, p. 409-413, 1965.

- HOLFORD, I.C.P.; MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphorus. *Plant and Soil*, The Hague, v.44, p. 377-389, 1976.
- HUBER, D.M.; ARMY, D.E. Interaction of potassium with plant disease. In: NUNSON, R.D. (ed.). *Potassium in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1985. Cap. 20, p. 467-488.
- HUNTER, A.H. & PRATT, P.F. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, v.21, p. 595-598, 1957.
- ITO, M.F.; TANAKA, M.A.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; DUDJENAS, C.; GALLO, P.B. Efeito residual de calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. *Summa Phytopathologica*, Campinas, v.19, n.10, jan./mar. p. 21-23. 1993.
- KLAMT, E. Solos de várzea do Rio Grande do Sul; características, distribuição e limitações ao uso. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RS, 1, 1984. Porto Alegre. Anais... Brasília: PROVARZEAS/PROFIR, 1986. p. 111-118.
- KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHENEIDER, P.D. Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1985. 43p. (Boletim Técnico, 4),
- 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.
- LOPES, A.S. *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola; adubos e adubação*. São Paulo: Ceres, 1981. 607p.

- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 8. Londrina. 1982, Anais... Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 95-162.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARIANO, E.D. Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para boro em feijoeiro cultivado em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1998. 82p. (Dissertação - Mestrado em solos e nutrição de plantas).
- MEHRA, O.P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clys by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v.3, p. 317-327, 1960.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- 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. mai./ago. 1995.
- MENGEL, K. & HAEDER, H.E. La disponibilidad de potasio y su efecto sobre la producción vegetal. *Revista de la Potasa*, Suiza, sección 6, v. 11, p. 1-15. 1973.
- MENGEL, K.; RAHMATULLAH. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. *Biology and Fertility of Soils*, v.17, p. 75-79, 1994.
- MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p. 377-382. set./dez. 1993.
- MIELNICZUK, J. O potássio no solo. Piracicaba, Instituto de Potassa e do Fosfato, 1978. 80p. (Boletim Técnico, 2)

- MIELNICZUK, J.** Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração, experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O., USHERWOOD, N.R. (eds). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato. Instituto Internacional da Potassa. Fundação IAPAR, 1982. p. 289-303.
- MIELNICZUK, J.** Formas de potássio nos solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, n.2-3, p. 55-56, maio/dez. 1977.
- MIELNICZUK, J. & SELBACH, P.A.** Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, n.2, p. 115-120, jan./abr. 1978.
- MORAES, J.F.V.** Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 261-301.
- 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, p. 223-235, 1992.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L.** Nivel crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n.3, p. 237-243, set./dez. 1985.
- 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.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S.; DUTRA, L.G.** Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (eds.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p. 169-221.
- OLIVEIRA, I.P.; DANTAS, J.P.** Sintomas de deficiências nutricionais e recomendações de adubação para o caupi. Goiania: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 23p. (Documentos, 8).

- OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. & CARVALHO, J.R.P.** Avaliação de cultivares de feijão quanto à eficiência do uso de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, n.1, jan., p. 39-45. 1987.
- OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATTY, M.T.** Potassium removed from some Southern soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, v.35, n.5, p. 763-767, set./out.1971.
- PONNAPERUMA, F.N.** The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p.28-96, 1972.
- PARRA, M.S.** Nutrição e adubação. In **FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. O feijão no Paraná.** Londrina: IAPAR, 1989, 303p. (IAPAR, Circular, 63).
- 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.
- PAULA, M.B.de.** Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos aluviais e hidromórficos sob a cultura do arroz inundado. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- 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.
- PREZOTTI, L.C.; DEFELIPO, B.V.; VENEGAS, V.H.A. & BARROS, N.F.de.** Nível crítico de potássio no solo para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, n.1, p. 65-70, jan./abr. 1988.
- RAIJ, B.van.** Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato - Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C.** Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: fundação Cargill, 1987. 170p.

- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- REITEMEIER, R.F. The chemistry of soil potassium. *Advances in Agronomy.*, New York, v.3, p. 133-164, 1951.
- RICH, C.I. Mineralogy of soil potassium. In: KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C. **The role of potassium in agriculture.** SSSA, Madison, 1968. p. 79-108.
- RICCI, M.S.F. **Capacidade de suprimento de potássio das diferentes frações granulométricas de alguns solos do Estado de Minas Gerais.** Viçosa, MG, UFV, 1987. 65p. (Tese - Mestrado).
- RITCHEY, K.D. **O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos.** Piracicaba, SP, Instituto da Potassa / Fosfato (EUA), Instituto Internacional da Potassa (Suíça), 1982. 69p. (Boletim Técnico, 7).
- ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987, 93p. (POTAFOS - Boletim Técnico, 8).
- 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.
- ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.68, p. 1-16, dez. 1994.(encarte - Potafos, arquivo do agrônomo 7)
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. & RIBEIRO, D.B.O. Formas de potássio no solo e nutrição da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, n.2.p. 121-125.mai./ago. 1988.
- SANTA CECÍLIA, F.C.; RAMALHO, M.A.P.; SILVA, C.C. Efeitos da adubação NPK na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na zona sul de Minas Gerais. *Agros, Lavras*, v.4, n.2, p. 3-10, jul./dez. 1974.
- 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.
- SOARES, E. Influência do teor de potássio trocável do solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja (*Glycine max* (L.). Merrill). Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 116p. (Tese - Doutorado)**
- SPARKS, D.L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: a review. Communications in Soil Science and Plant Analysis., New York, 11:435-449, 1980.**
- 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, p. 435 - 445. 1980.**
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil Fertility and Fertilizers. 4.ed. New York, Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.**
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 5.ed. New York: Macmillan, 1993. 634p.**
- VALENTE, M.A.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.de.; BRASIL, E.C. Caracterização e possibilidades de uso de solos de várzea na Amazônia. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, Manaus, 1996. Resumos expandidos...p. 80-81.**
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).**
- YAMADA, T. & BORKERT, C.M. Nutrição potássica e produtividade da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1., Piracicaba, 1992. Piracicaba, FEALQ, 1992. p. 180-212.**
- WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K. Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção. Goiania: EMBRAPA-CNPAP, 1976. 22p. (EMBRAPA-CNPAP, Boletim Técnico, 5).**

ANEXOS

ANEXO A

Página

TABELA 1A	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL), número de grãos por vagem (GRVG) em função das saturações por K e solos estudados	53
TABELA 2A	Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) das formas de K no solo, em função das saturações por K e solos estudados	53

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da produção de matéria seca de grãos (MSGR), número de vagens por planta (VGPL), número de grãos por vagem (GRVG) em função das saturações por K e solos estudados

Quadrado Médio		Causas de variação		GL.	MSGR	GRVG	VGPL
Saturação por K	4	221,344**	1,784**	8,562**			
Solo	3	1154,249**	6,836**	56,227**			
Saturação x solo	12	15,912**	0,354ns	2,098**			
Resíduo	60	2,153	0,459	0,660			
TOTAL	79						
		7,0	17,9	10,6	**, ns significativo a 1% e não significativo, respectivamente		
		C.V. (%)					

TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) do teor de K trocável inicial (Kt ini), K não trocável inicial (Knt ini), K trocável final (Kt fin) e K não trocável final (Knt fin) em função das saturações por K e solos estudados

Quadrado Médio		Causas de variação		GL.	Kt ini	Kt fin	Knt ini	Knt fin
Saturação por K	4	111915,40**	30001,75**	10236,16**	2884,10**			
Solo	3	156940,10**	178571,30**	8817,75**	106684,30**			
Saturação x solo	12	7740,49**	3202,11**	644,64**	1211,35**			
Resíduo	60	60,13	169,96	11,62	110,85			
TOTAL	79							
		8,3	4,4	6,8	13,4	** significativo a 1%		
		C.V. (%)						