

**Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica após dois anos de cultivo**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pecuária Sudeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33***

**Teores de potássio no solo,  
estado nutricional e produção  
de matéria seca de alfafa em  
função de doses e frequência de  
adubação potássica após dois  
anos de cultivo**

*Alberto C. de Campos Bernardi  
Joaquim Bartolomeu Rassini  
Reinaldo de Paula Ferreira*

**Embrapa Pecuária Sudeste**

Rod. Washington Luiz, km 234  
13560 970, São Carlos, SP  
Caixa Postal 339  
Fone: (16) 3411- 5600  
Fax: (16): 3361-5754  
Home page: www.cppse.embrapa.br

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Ana Rita de Araujo Nogueira  
Secretária-Executiva: Simone Cristina Méo Niciura  
Membros: Ane Lisye F.G. Silvestre, Maria Cristina Campanelli Brito,  
Milena Ambrosio Telles, Sônia Borges de Alencar

Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar  
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito  
Foto(s) da capa: Alberto C. de Campos Bernardi

**1ª edição**

1ª edição on-line (2012)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Pecuária Sudeste

---

Bernardi, Alberto C. de Campos

Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica após dois anos de cultivo. [Recurso eletrônico] / Alberto C. de Campos Bernardi, Joaquim Bartolomeu Rassini e Reinaldo de Paula Ferreira. — Dados eletrônicos. — São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/>

070publicacaogratis/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/Boletim33.pdf/view.>

25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pecuária Sudeste, 33; ISSN: 1980-6841).

1. Forragicultura – Alfafa – Matéria seca. 2. Fertilidade do solo – Potássio. I. Rassini, Joaquim Bartolomeu. II. Ferreira, Reinaldo de Paula. III. Título. IV. Série.

CDD: 633.31

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução .....	8
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	13
Conclusões .....	20
Referências .....	21

# Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência de adubação potássica após dois anos de cultivo

*Alberto C. de Campos Bernardi<sup>1</sup>*

*Joaquim Bartolomeu Rassini<sup>2</sup>*

*Reinaldo de Paula Ferreira<sup>3</sup>*

## Resumo

O potássio é um dos nutrientes mais exportados no sistema de produção de alfafa para corte. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das doses e das frequências de aplicação do fertilizante potássico sobre a produção de matéria seca da forragem e sobre os teores de K no solo. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 X 4, com três repetições. Os tratamentos foram quatro doses de potássio em cobertura (0, 600, 1.200 e 1.800 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano) e quatro frequências de aplicação após os cortes (F12 = após cada corte; F6 = após dois cortes; F4 = após três cortes; e F2 = duas aplicações por ano). O experimento foi conduzido por dois anos. Os resultados indicaram que o uso de 1.423 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano aplicados depois de 2 cortes (6 aplicações por ano) proporcionou produção de matéria seca de 30,5 t ha<sup>-1</sup>, que foi 54% maior que a produção obtida o tratamento testemunha (sem adubação potássica). O K trocável no solo aumentou com as doses de K<sub>2</sub>O e as diferenças foram observadas até os 60 cm de profundidade. A maior produtividade foi obtida com o teor de 3,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K trocável ou 4,8% de K na capacidade de troca de cátions na camada de 0-20 cm.

**Palavras-Chave:** *Medicago sativa*, análise de solo, eficiência do uso de potássio.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, alberto@cppse.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, pesquisador aposentado da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, reinaldo@cppse.embrapa.br



# Potassium levels in soil, nutritional status and alfalfa dry matter Production as a function of potassium doses and frequency of application After two years of growth

---

## Abstract

Potassium is one of the most exported nutrients in the production system for alfalfa cuttings. The experiment was carried out as randomized blocks in a 4 X 4 factorial with 3 replications. Treatments were four levels of potassium in topdressing fertilization (0, 600, 1,200 and 1,800 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) and 4 frequencies of application (12 = after each cutting, 6 = after two cuttings, 4 = after three cuttings; and 2 = two applications per year). The use of 1,420 kg ha<sup>-1</sup> per year K<sub>2</sub>O applied after two cuttings (6 applications per year) increased alfalfa dry matter yield up to 30,500 kg ha<sup>-1</sup>, which is 54% higher than control. Soil exchangeable K increased with K rates and differences were observed until 0.6 m of depth. The highest yield was obtained with 3.4 mmol dm<sup>-3</sup> of exchangeable K or 4.8% of K in cation exchange capacity at 0-20 cm depth.

**Keywords:** *Medicago sativa*, nutritional status, soil testing, potassium use efficiency

## Introdução

No geral, os solos do Brasil são intemperizados, ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), alto poder de fixação de fósforo, elevada acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e apresentam baixos teores de macronutrientes primários (N, P e K), secundários (Ca, Mg e S) e de micronutrientes (B, Zn e Cu) (BERNARDI et al., 2002).

A correção das características naturais do solo, que limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produção da planta, e o fornecimento adequado de nutrientes, resulta em cerca de 50% de aumento da produtividade. Os 50% restantes são obtidos por meio de plantas com maior potencial produtivo e alta capacidade de adaptação a condições adversas, além de outras práticas agrícolas.

Por isso, o manejo da fertilidade do solo e do estado nutricional é uma prática que tem grande impacto na produtividade da alfafa. Para se garantir alta produtividade e qualidade de forragem, longevidade, menores custos e impacto ambientais negativos, bem como alta produtividade animal, um dos principais fatores a serem considerados é a correção da fertilidade do solo e o fornecimento de nutrientes minerais de forma equilibrada e controlada (MOREIRA et al., 2008).

Na produção de alfafa para corte é necessária especial atenção à adubação potássica (RASSINI; FREITAS, 1998), pois é um dos nutrientes extraídos do solo em maiores quantidades através da forragem colhida (SMITH, 1975; LANYON; GRIFFITH, 1988). Lloveras et al. (2001) verificaram extrações de 1500 a 1700 kg ha<sup>-1</sup> (com produtividade de 21,5 t ha<sup>-1</sup> de MS) em solo de alta fertilidade.

Nos solos de região tropical, os teores de K normalmente são baixos (normalmente inferiores a 1,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), tornando necessária a complementação desse nutriente para possibilitar produtividades sustentáveis. O principal fertilizante com K utilizado no Brasil é o KCl, que contém aproximadamente 60% de K<sub>2</sub>O (ANDA, 2008).



O K do solo é formado pelo K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e K estrutural, e o suprimento para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS, 2000). De acordo com Sparks (2000) o K do solo também pode ser classificado em função de sua disponibilidade para as plantas: solúvel (prontamente disponível), facilmente trocável, lentamente trocável e estrutural (praticamente indisponível). O teor trocável é a principal fonte de reposição do K para a solução (RAIJ, 1991), o qual, por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou perdido por lixiviação. Dessa maneira, recomenda-se realizar a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvem, visando reduzir as perdas no sistema solo-planta e aumentar a eficiência de utilização desse nutriente.

A concentração de potássio na solução do solo é relativamente baixa, por isso as recomendações para adubação potássica são baseadas principalmente em solos de conteúdo K trocável. Em solos tropicais a dinâmica do K depende da argila, da textura do solo, do pH, da capacidade de troca catiônica (CTC) e da relação  $Ca^{+2} + Mg^{+2}/K$ . Esses fatores regulam a disponibilidade do K, uma vez que regulam a relação entre K na solução do solo e K adsorvido nos colóides. Geralmente, em solos bem drenados, as quantidades de  $Ca^{2+}$  são mais elevadas que  $Mg^{2+}$ , que também são maiores que do  $K^{+}$  (MIELNICZUK, 1982). Assim, perdas por lixiviação dependem da concentração de K na solução do solo e excesso de água para o seu deslocamento para as camadas mais profundas (MIELNICZUK, 2005). O enriquecimento da solução do solo pode resultar em aumento da lixiviação de K, com o aumento da disponibilidade de água, independentemente da textura do solo (WERLE et al., 2008). Rosolem et al. (1984) observaram diminuição no teor de K trocável do solo durante anos sucessivos de cultivo de soja e informaram que seria necessário aplicar, pelo menos,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  por ano para manter o conteúdo K trocável em solo com textura franco-arenosa. Os resultados do estudo de Borkert et al. (1993) indicaram que a aplicação anual de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  durante

cinco anos aumentou teores de K trocável de  $0,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para  $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , resultando em um rendimento médio de  $3045 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos de soja. Entretanto, em regiões tropicais geralmente no verão, a precipitação excede a evapotranspiração e aumenta a possibilidade da lixiviação de K (WERLE et al., 2008).

O K é absorvido pelas plantas predominantemente na forma iônica. A absorção do nutriente depende principalmente do processo de difusão, dentro da solução do solo e, em proporção menor, de fluxo de massa. Os sais de K apresentam em geral alta solubilidade, podendo atingir concentrações bastante elevadas na solução do solo, o que permite também ocorrer, esgotamento por lixiviação e excesso de absorção pelas plantas (HAVLIN et al., 1999).

O K desempenha diversas funções metabólicas e estruturais na planta. O macronutriente é essencial no processo fotossintético e, quando deficiente, a fotossíntese diminui e a respiração aumenta, condições tais que reduzem o suprimento de carboidratos para as plantas impedindo, inclusive, a incorporação eficiente do N (LANYON & GRIFFITH, 1988). Por isso, em quantidades adequadas, o K aumenta a persistência e a longevidade do alfafal (SMITH, 1975; BERG et al., 2005)

O K adicionado via adubação química pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores (HAVLIN et al., 1999). Por isso, o manejo da adubação com relação às doses e época de aplicação deve ser considerado, devido ao alto potencial de perdas por lixiviação que a maioria dos solos tropicais podem apresentar, devido àqueles fatores e também à baixa CTC. A quantidade de fertilizante potássico a ser fornecido é função da fertilidade do solo, da eficiência do adubo e de suas reações no solo, das necessidades das plantas e de seu potencial de produção, do tipo de exploração e de fatores de ordem econômica. A prática da adubação deve atender às necessidades da alfafa e, também, garantir aumentos econômicos da produtividade (SMITH, 1975; LANYON & GRIFFITH, 1988). Além disso,

manter o solo com teores do nutriente de médios ( $1,5$  a  $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) a altos ( $3,1$  a  $6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (RAIJ et al., 1997).

A adubação pode representar até 27% do custo de produção da alfafa em um sistema de produção intensiva de gado de leite no Brasil (VINHOLIS et al., 2008). Por isso, uma análise crítica sobre as doses e épocas adequadas de aplicação que proporcionem melhores respostas das culturas é essencial para garantir o sucesso do sistema pecuário.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as doses e frequências de aplicação do fertilizante potássico sobre a produção de matéria seca da alfafa e sobre os teores de K no solo.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido por dois anos (2005-2006 e 2006-2007) na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP ( $22^{\circ}01'S$  e  $47^{\circ}54'W$ ; 856 m acima do nível do mar). O clima da região, de acordo com CEPAGRI (2010), é tropical de altitude, Cwa (classificação de Köppen) com 1.502 mm de precipitação pluvial anual, e temperatura média, mínima de  $16,3^{\circ}\text{C}$  (julho) e máxima de  $23^{\circ}\text{C}$  (fevereiro). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVAd), textura média (CALDERANO FILHO et al., 1998). As características químicas do solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, antes do início do experimento foram, respectivamente:  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 5,9; 5,3$  e  $5,1$ ; M.O. = 21; 11 e  $10 \text{ g dm}^{-3}$ ;  $\text{P}_{\text{resina}} = 42, 10$  e  $3 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{K} = 1,3; 0,9$  e  $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca} = 29, 14$  e  $11 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg} = 13, 5$  e  $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{CTC} = 69, 50$  e  $48 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; e  $\text{V} = 63, 39$  e  $28\%$ ; e as características físicas: areia = 730, 710 e  $689 \text{ g kg}^{-1}$ ; argila = 253, 273 e  $302 \text{ g kg}^{-1}$ ; e silte = 17, 17 e  $9 \text{ g kg}^{-1}$ .

A alfafa (*Medicago sativa*) cv. Crioula foi semeada em maio de 2005 com densidade de plantio de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ , e as sementes foram inoculadas com estirpes de *Sinorhizobium meliloti*. A dose de calcário

dolomítico (PRNT 70%) foi calculada para elevação da saturação por bases do solo para 80%. Foram aplicados  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de superfosfato simples (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e 30 kg de FTE BR-12 (1,8% de B; 0,8% de Cu; 3% de Fe; 2% de Mn; 0,1% Mo; 9% Zn). A correção do solo e as adubações com P e micronutrientes foi repetida sempre que as análises de solo indicavam a necessidade. Em novembro de 2005 foram iniciados os tratamentos nas parcelas experimentais compostas por 8 linhas de 2 m de comprimento, espaçadas em 20 cm, sendo a área total de  $3,2 \text{ m}^2$ .

A irrigação foi realizada por aspersão através de sistema autopropulsor de movimentação circular - pivô central, e o manejo da água (frequência e lâmina de irrigação) foi estabelecido com base no balanço entre a demanda climática e as condições edáficas do local (RASSINI, 2001, 2002).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 4X4, com 3 repetições. Os tratamentos foram 4 doses de potássio em cobertura (0, 600, 1.200 e  $1.800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$  por ano) e 4 frequências de aplicação após os cortes (F12 = após cada corte; F6 = após dois cortes; F4 = após três cortes; e F2 = duas aplicações por ano, sendo uma na época do inverno e outra no verão). A quantidade de fertilizante potássico aplicada foi sempre a mesma, independentemente da frequência, de modo que as quantidades anuais totais fornecidas de experimento foram 600, 1.200 e  $1.800 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . A fonte de potássio utilizada foi o KCl (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ). A aplicação do fertilizante potássico foi realizada a lanço em cobertura após o corte da parte aérea.

A produtividade da alfafa foi avaliada periodicamente, pela produção de biomassa fresca, amostrada na área útil das parcelas, quando a cultura apresentava 10% de florescimento. Vinte e quatro cortes foram avaliados, sendo o primeiro em dezembro de 2005 e o último em dezembro de 2007. Nesta data também foram coletadas amostras de solo nas parcelas nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Amostras do material colhido foram levadas à estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante, para determinação da matéria seca. Seguindo a metodologia descrita por Nogueira et al. (2005), após a digestão nítrico-perclórica do material foram determinados os teores totais de K (fotometria de chama) e de Ca e Mg (espectrofotometria de plasma induzido). Foram também determinados os teores de K trocável nas amostras de solo (RAIJ et al., 2001).

Após análise de variância, foram ajustadas superfícies de resposta e equações de regressão para a produção de matéria seca e teores de K no solo em função das doses e épocas de aplicação de potássio.

## Resultados & Discussão

Houve respostas quadráticas da produção de MS em função da dose de K (Figura 1), com a produção máxima de 30,5 t ha<sup>-1</sup> de MS obtida com a dose calculada de 1.423 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano, aplicado na frequência (calculada) de 7,5 vezes, ou seja, aproximadamente após cada dois cortes. A produção obtida com esse tratamento foi aproximadamente 54% maior que a do tratamento testemunha (sem adubação potássica), na média dos 2 anos de cultivo.

Os resultados de produção de matéria seca da alfafa confirmam os obtidos anteriormente por Rassini e Freitas (1998) e Smith (1975), que também observaram aumentos na produção com os aumentos nas doses de K. Entretanto, os aumentos observados neste estudo são maiores que os relatados por Lloveras et al. (2001) e Kafkafi et al. (1977).

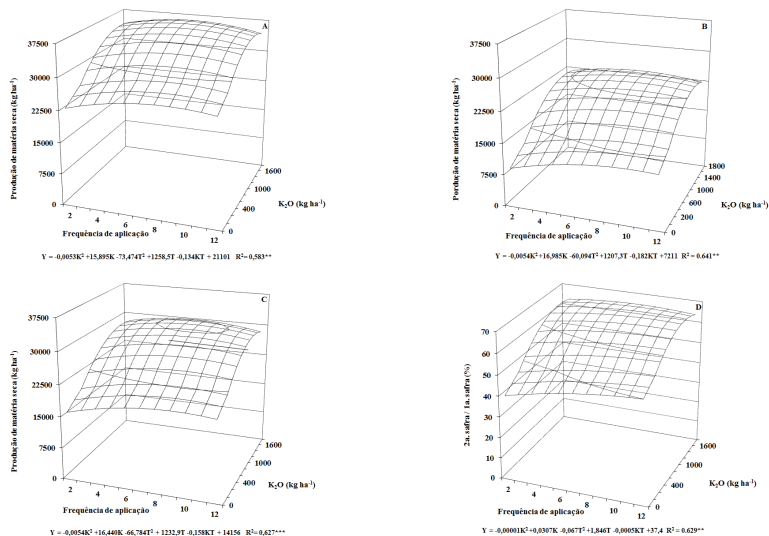
Rando e Silveira (1995) trabalhando no Norte do Paraná com adubação potássica da cultivar Crioula, em Latossolo Roxo eutrófico, observaram incremento na produção de matéria seca em todos os oito cortes realizados. As aplicações de 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O resultaram em aumentos de 22%, 41% e 45%, respectivamente, no rendimento de matéria seca. A maior produção estimada na soma dos oito cortes

foi alcançada com a aplicação de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . No mesmo trabalho o autor estipulou que para se obter 90% da produção máxima, a alfafa exigiria  $132 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  no primeiro corte, enquanto na soma do primeiro e do segundo cortes, a exigência seria de  $217 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

O percentual de redução da produção de MS do primeiro para o segundo ano foi maior nos níveis mais baixos de adubação potássica (Figura 1D). A menor redução (33,5%) foi obtida com  $1.346 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicado após dois cortes. Esses resultados são indicativos de que a oferta adequada de potássio aumenta a longevidade do alfafal como já foi demonstrado por Smith (1975) e Berg et al. (2005). A grande diferença no rendimento entre os dois anos de produção é resultado de um declínio natural induzido pelo corte repetido da cultura, que acontece, em média, a cada 30 dias. E o declínio torna-se ainda mais importante nas regiões de clima mais quente e com irrigação, nas quais a cultura vegeta o ano todo. A longevidade da cultura da alfafa pode ser limitada por um declínio na população de plantas, resultado da colheita ou manejo inadequado do pastejo. Além disso, a longevidade pode ser reduzida por doenças, presença de ervas daninhas, danos causados por insetos e queda na fertilidade do solo. Nas áreas irrigadas a degradação ocorre mais rapidamente (RICE et al., 1989) e a longevidade é limitada, não atingindo mais do que quatro a seis anos (HUMPHRIES et al., 2004).

Não houve efeito significativo da frequência de aplicação de fertilizante potássico sobre o teor de K trocável no solo e % de K na CTC, após 2 anos de experimento (24 cortes) (Figura 2). Porém, as doses mais elevadas do fertilizante aumentaram linearmente os teores (Figura 2A) e a % do nutriente na CTC (Figura 2B) tanto na superfície, como nas camadas mais profundas. As doses de  $1.320$ ,  $1.341$  e  $1.678 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  por ano elevaram os teores de  $\text{K}^+$  nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, acima de  $3,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , níveis considerados altos por Raij et al. (1997). Além disso, confirma que, sem uma adequada reposição do nutriente, como pode ser observado nos resultados do

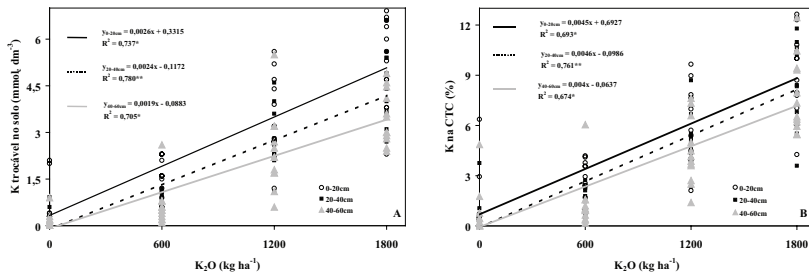
grupo controle, houve intensa redução do K trocável. O teor observado foi menor que  $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , classificado como baixo a muito baixo (RAIJ et al., 1997).



**Figura 1.** Produção de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da alfafa cv. Crioula no primeiro (A) e segundo (B) anos de cultivo, média de 2 anos de cultivo (C) e porcentagem de redução do primeiro para o segundo ano (D) em função das doses e frequências de aplicação de fertilizante potássico.

Solos com baixa CTC, geralmente, não têm a capacidade de manter o suprimento de K trocável em níveis adequados para atender às exigências nutricionais das culturas ao longo do ciclo produtivo, o que pode levar ao consumo de outras formas de K, como aquelas não trocáveis (SPARKS, 2000). O Latossolo vermelho-amarelo distrófico utilizado neste estudo não possui, originalmente, K trocável suficiente para suprir as necessidades da cultura da alfafa, confirmando a necessidade de repor o K extraído por meio da adubação. Os dados apresentados na Figura 2A confirmam que na ausência de adequada adubação potássica ocorre intensa depleção dos teores de K trocável.

Considerando que o Latossolo vermelho distrófico apresenta baixa CTC, nas maiores doses utilizadas, provavelmente, houve movimentação do cátion no perfil, uma vez que teores considerados altos ( $> 3,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) foram observados nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm. A lixiviação de K depende da concentração de K na solução do solo, da quantidade de água movimentando-se no perfil e da capacidade do solo em reter cátions (HAVLIN et al., 1999). Apesar da baixa capacidade de retenção de cátions do solo utilizado no experimento, os resultados indicaram que a adubação potássica poderá ser feita após cada 2 cortes. Já em condições de clima temperado, o parcelamento do K somente será eficiente se as quantidades a serem aplicadas forem maiores que  $446 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (LANYON; GRIFFITH, 1988).



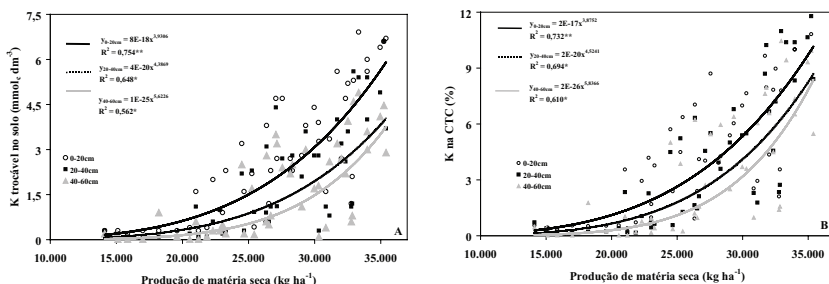
**Figura 2.** Teores de K trocável no solo (A) e % de K na CTC do solo (B) em função das doses de fertilizante potássico após 2 anos de cultivo da alfafa cv. Crioula.

Apesar da alfafa apresentar sistema radicular profundo, quando há adequada umidade do solo, Peterson et al. (1983) mostraram que a cultura absorve K preferencialmente das camadas superficiais, quando compararam horizontes  $A_p$  com outros mais profundos. Dessa forma pode-se explicar o melhor ajuste da equação de regressão relacionando a produção de matéria seca da parte aérea com os teores de K trocável na camada de 0-20 cm (Figura 3A).



A produção de matéria seca da alfafa foi influenciada pelos teores de K trocável no solo e % de K na CTC do solo (Figura 3). As equações ajustadas para esses dois fatores, nas três profundidades estudadas, indicaram que a camada superficial (0-20 cm) apresentou os melhores ajustes, com coeficientes de determinação de 75,4 e 73,2%.

Nas profundidades estudadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), e considerando-se a máxima produtividade média de 30,5 t ha<sup>-1</sup> de MS, os valores de K<sup>+</sup> no solo seriam de 3,4; 1,9 e 1,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 3A). Destaca-se que o valor observado na camada superficial é classificado como alto (RAIJ et al., 1997). Já a % de K na CTC do solo, nas mesmas profundidades foi de 4,8; 3,9 e 3,0%, respectivamente (Figura 3B).



**Figura 3.** Produção de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>) da alfafa cv. Crioula em função dos teores de K trocável no solo (A) e % de K na CTC (B) após 2 anos de cultivo.

Os resultados obtidos concordam com um levantamento realizado por especialistas em manejo de forragens nos EUA, indicando que raramente deve-se aplicar fertilizante potássico, quando o K<sup>+</sup> no solo for mais alto que 300 kg ha<sup>-1</sup> ou aproximadamente 3,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (150 mg kg<sup>-1</sup>) na camada superficial do solo (LANYON; GRIFFITH, 1988). Rassini e Freitas (1998) aplicaram 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por corte e, após 8 cortes, os níveis de K no solo alcançaram valores da ordem de 5,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

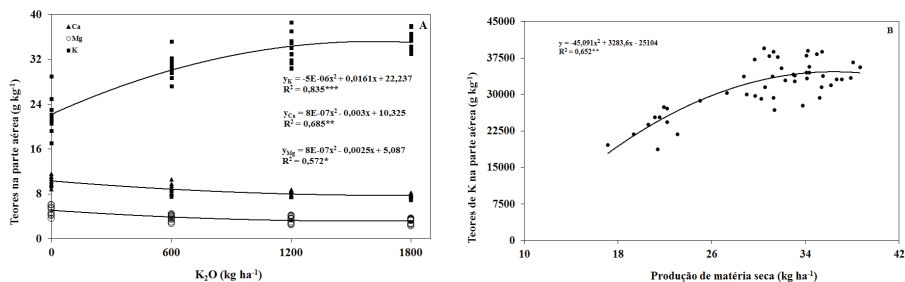
No Brasil, as faixas de teores adequados para os macronutrientes K, Ca e Mg na parte aérea da alfafa, propostos por Werner et al. (1997) são: de 20 a 35 g kg<sup>-1</sup> para K; de 10 a 25 g kg<sup>-1</sup> para Ca; e de 3 a 8 g kg<sup>-1</sup> para Mg.

Os valores observados para o nutriente K (Figura 4A) foram considerados adequados. A máxima concentração de K na parte aérea da alfafa foi de 35,2 g kg<sup>-1</sup>, obtida na dose de 1.610 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Esse valor é 58% mais alto que aquele obtido com o controle (20,4 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). O aumento na concentração de K com aumento da fertilização potássica foi similar aos resultados de Smith (1975) e Sheaffer et al. (1986), em solos que responderam ao fornecimento de K. Eles observaram, respectivamente, que a concentração de K no tecido aumentou de 8,9 para 20,5 g kg<sup>-1</sup> quando as taxas de adubação aumentaram de 0 para 448 kg ha<sup>-1</sup> e de 11,4 para 25,3 g kg<sup>-1</sup> quando a adubação foi de 0 para 334 kg ha<sup>-1</sup>.

As doses máximas de fertilizante potássico (1.800 kg ha<sup>-1</sup>) podem levar a concentrações insuficientes de Mg na parte aérea (<3 g kg<sup>-1</sup>). O efeito de absorção competitiva foi muito maior com o Ca. Pode-se aferir que os teores de Ca na parte aérea foram mais baixos que os considerados adequados. Em experimentos de longa duração (10 anos), a inibição da absorção de Ca e Mg devido ao aumento das disponibilidade de K foi relatado por Borkert et al. (1997). Resultados de Foloni e Rosolem (2004) mostraram que doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O causaram diminuições nos teores de Ca e Mg na soja. Porém, neste experimento mesmo com a aplicação de doses elevadas de K, os teores de cátions bivalentes (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) no solo foram suficientes para garantir uma adequada produção da cultura da alfafa.

As plantas absorvem os nutrientes da solução do solo pelas raízes criando um gradiente de concentração através de suas membranas celulares. E os nutrientes catiônicos competem pela absorção via osmose. A Figura 4A também ilustra o resultado da competição pela absorção de K, Ca e Mg, uma vez que os aumentos na adubação potássica levaram a diminuições nos teores de Ca e Mg como havia sido relatado por Smith (1975), Lanyon e Smith (1985) e Lloveras et al. (2001).

Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência de adubação potássica após dois anos de cultivo



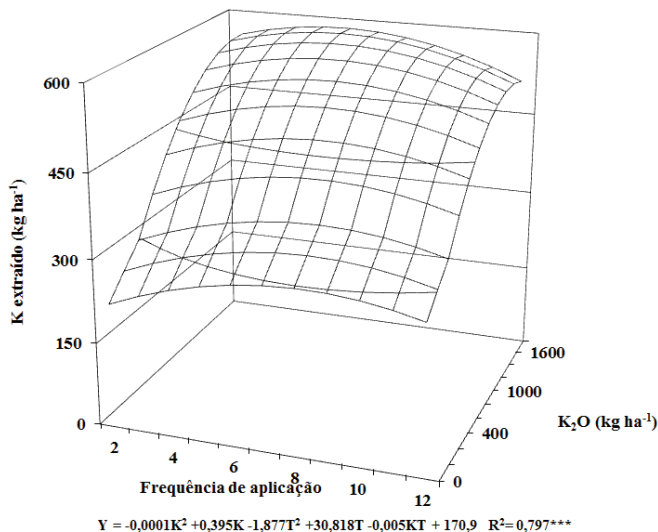
**Figura 4.** Teores de Ca, Mg e K ( $g\ kg^{-1}$ ) na parte aérea da alfafa cv. Crioula em função das doses de fertilizante potássico (A) e teores de K ( $g\ kg^{-1}$ ) na parte aérea em função da produção de matéria seca ( $kg\ ha^{-1}$ ) da alfafa cv. Crioula (B). Média de 2 anos de cultivo.

As funções dos nutrientes nas plantas de alfafa, a importância desses sobre a produtividade e qualidade da forragem, e os possíveis distúrbios provocados por suas deficiências foram apresentados por Moreira et al. (2008). Apesar de alguns nutrientes terem sido encontrados em teores abaixo das faixas consideradas adequadas, não foram observados sintomas de deficiência nutricional nas folhas, tendo em vista que os níveis nutricionais, mesmo abaixo do adequado, não estavam nas faixas de deficiência visual apresentados por Moreira et al. (2008).

As relações entre a concentração de nutrientes nas folhas e a produção das culturas são a base de utilização da análise de plantas para avaliar o estado nutricional. A produção de matéria seca e os teores de K na parte aérea apresentaram uma correlação positiva (Figure 4B) com os aumentos da produtividade e acompanham os aumentos dos teores de K. As plantas de alfafa continuam a absorver K mesmo quando a necessidade desse nutriente já foi satisfeita. Esta propriedade relacionada ao K é chamada de absorção de luxo (HAVLIN et al., 1999) e pode ser observada, uma vez que grandes quantidades de K (acima de  $36\ g\ kg^{-1}$  na parte aérea) foram acumuladas sem que houvesse aumentos na produção de MS.

A quantidade total de K extraída pela parte aérea da alfafa aumentou com as doses de K e também com o aumento da frequência de

aplicação (Figura 5). Os resultados indicam remoções de  $704 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  por ano com a aplicação de  $1.623 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  por ano, comparado a  $205 \text{ kg ha}^{-1}$  de extração no grupo controle (sem adubação potássica). Lloveras et al. (2001) também observaram aumentos lineares da remoção de K com os aumentos das doses de adubação potássica.



**Figura 5.** Extração de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pela parte aérea da alfafa cv. Crioula em função das doses e frequência de aplicação de fertilizante potássico. Média de 2 anos de cultivo.

## Conclusões

O uso de  $1.423 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  por ano aplicado depois de 2 cortes (6 aplicações por ano) aumentou a produção de matéria seca até  $30,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Ao final do experimento, o K trocável no solo aumentou com as doses de  $\text{K}_2\text{O}$  e as diferenças foram observadas até os 60 cm de profundidade. A maior produtividade foi obtida com o teor de  $3,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K trocável e 4,8% de K na CTC na camada de 0-20 cm.

## Agradecimentos

Ao *International Potash Institute* - IPI pelo financiamento deste trabalho de pesquisa e em particular ao Dr. Alexey Naumov, coordenador do IPI na América Latina.

## Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008.

BERG, W. K.; CUNNINGHAM, S. M.; BROUDER, S. M.; JOERN, B. C.; JOHNSON, K. D.; SANTINI, J.; VOLENEC, J. J. Influence of phosphorus and potassium on alfalfa yield and yield components. **Crop Science**, v. 45, p. 297-304, 2005.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p. 61-77.

BORKERT, C. M.; FARIAS, J. R. B.; SFREDO, G. J.; TUTIDA, F.; SPOLADORI, C. L. Resposta da soja à adubação e disponibilidade de potássio em latossolo roxo distrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p.1235-1249, 1997.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para a soja em latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 223-226, 1993.

CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1998. 95 p. (Embrapa-CNPS. Boletim de Pesquisa, 7).

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS  
APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koeppen para o Estado de São Paulo.** Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_549.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html)>. Acesso em: 01 jun. 2010.

FALES, S. L.; MULLER, L. D.; FORD, S. A.; O'SULLIVAN, M.; HOOVER, R. J.; HOLDEN, L. A.; LANYON, L. E.; BUCKMASTER, D. R. Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed pasture system. **Journal of production agriculture**, v. 74, p. 88-96, 1995.

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction nutrient management.** Upper Saddle River: Prentice Hall. 1999. 499 p.

HUMPHRIES, A. AURICHT, G.; KOBLET, E. **Lucerne variety.** Urrbrae: South Australian Research and Development Institute, 2004.  
Disponível em: [www.sardi.sa.gov.au](http://www.sardi.sa.gov.au). Acesso em 23 de ago. de 2012.

KAFKAFI, U.; GILAT, R.; YOLES, D. Studies on fertilization of field-grown irrigated alfalfa. **Plant Soil**, v. 46, p.165-173. 1977.

LANYON, L. E.; GRIFFITH, W. K. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, A. A.; BARNES, D. K.; HILL JUNIOR, R. R. (Ed.). **Alfalfa and alfalfa improvement.** Madison: Agronomy American Society, 1988. p.333-372.

LLOVERAS, J.; FERRAN, J.; BOIXADERA, J.; BONET, J. Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. **Agronomy Journal**, v. 93, p.139-143, 2001.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração - experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. 556 p.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p.165-178.

MOREIRA, A.; BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B. Correção do solo, estado nutricional e adubação da alfafa. In: FERREIRA, R. P.; RASSINI, J. B.; RODRIGUES, A. A.; FREITAS, A. R.; CAMARGO, A. C.; MENDONÇA, F. C. (Ed.). **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 95-138.

NOGUEIRA, A. R. A.; MATOS, A. O.; CARMO, C. A. F. S.; SILVA, D. J.; MONTEIRO, F. L.; SOUZA, G. B.; PITA, G. V. E.; CARLOS, G. M.; OLIVEIRA, H.; COMASTRI FILHO, J. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA NETO, W. T. Tecidos vegetais. In: NOGUEIRA, A. R. A., SOUZA, G. B. (Ed.). **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p.151-199.

PETERSON, L. A.; SMITH, D.; KRUEGER, A. Quantitative recovery by alfalfa with time of K placed at different soil depths for two soil types. **Agronomy Journal**, v. 75, p. 25-30,1983.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C. A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo: FUNDAG, 1997. p. 1-13. (IAC. Boletim técnico, 100).

RANDO, E. M.; SILVEIRA, R. I. Desenvolvimento da alfafa em diferentes níveis de acidez, potássio e enxofre no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, p. 235-242,1995.

RASSINI, J. B.; FREITAS, A. R. Desenvolvimento da alfafa (*Medicago sativa*) sob diferentes doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.487-490, 1998.

RASSINI, J. B. **Irrigação de Pastagens**: frequência e quantidade de aplicação de água em latossolos de textura média. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 7 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 31).

RASSINI, J. B. Manejo da água na irrigação da alfafa num Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 503-507, 2001.

RICE, J. S.; QUINSENBERRY, V.L; NOLAN, T.A. Alfalfa Persistence and Yield with Irrigation. **Agronomy Journal**, v. 81, p.943-946, 1989.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R. Adubação potássica da soja em latossolo vermelho escuro fase arenosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p. 1319-1326, 1984.

SHEAFFER, C. C.; RUSSELLE, M. P.; HESTERMAN, O.B.; STUCKER, R. E. Alfalfa response to potassium, irrigation and harvest management. **Agronomy Journal**, v. 78, p. 464-468, 1986.

SMITH, D. Effects of potassium topdressing a low fertility silt loam soil on alfalfa herbage yields and composition and on soil K. **Agronomy Journal**, v. 67, p. 60-64, 1975.

SPARKS, D. L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 38-53.

VINHOLIS, M. M. B.; ZEN, S.; BEDUSCHI, G.; SARMENTO, P. H. L. Análise econômica da utilização de alfafa em sistemas de produção de leite. In: FERREIRA, R. de P.; RASSINI, J. B.; RODRIGUES, A. de A., MENDONÇA, F. (Ed.). **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 409-434.



WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WERNER, J. C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 261-273.