

Capítulo 4

Correção do Solo, Estado Nutricional e Adubação da Alfafa

Adônis Moreira

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Joaquim Bartolomeu Rassini

PROCI-2008.00229
MOR
2008
SP-PP-2008.00229

Correcao do solo, estado ...
2008 SP-PP-2008.00229



CPPSE-18202-1 - 18202-1

PROCI (2008.00229) ID. 18202

Introdução

Os solos do Brasil, na sua maioria, intemperizados e ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), alto poder de fixação de fósforo e elevada acidez trocável (Al^{3+}), e apresenta baixos teores de macronutrientes primários (N, P e K) e secundários (Ca, Mg e S) e de micronutrientes (B, Zn e Cu) (GOEDERT et al., 1985; BERNARDI et al., 2002). Com relação às limitações físicas, há problemas com baixa disponibilidade de água e alto risco de erosão.

De modo geral, a correção das características naturais do solo, que limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produção da planta, e o fornecimento adequado de nutrientes, corresponde a 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 altas 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.

Neste sentido, este capítulo aborda informações essenciais sobre a fertilidade do solo e o estado nutricional para o cultivo da alfafa nas condições dos trópicos.

Solo

Para possibilitar o bom desenvolvimento do sistema radicular (Fig. 1A), o alfafal deve ser cultivado em solos com alta fertilidade, profundos e bem drenados. As condições devem ser ótimas também para o desenvolvimento das bactérias fixadoras de N *Sinorhizobium meliloti* (Fig. 1B). Assim, a alfafa não tolera excesso de umidade, que propicia o aparecimento de doenças radiculares com posterior morte da coroa (ANCHÃO, 1995).



Fig. 1. Sistema radicular do alfafal, com a presença de grande quantidade de raízes pivotantes (A) e nódulos radiculares das bactérias fixadoras de N *Sinorhizobium meliloti* (B).

Fonte: GNIS (1991) e NMSU (1998).

Exigências nutricionais, correção da fertilidade do solo e adubação

Do total de matéria seca acumulada nos vegetais, aproximadamente 90 % correspondem ao acúmulo de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), provenientes do gás carbônico e da água absorvidos e incorporados durante o processo fotossintético (MALAVOLTA, 2006). Os nutrientes absorvidos pelo sistema radicular diretamente da solução do solo limitam-se a concentrações que variam de 0,1 mg a 6,0 g por quilo de matéria seca. Dentre esses, apenas 14 são considerados essenciais (MALAVOLTA et al., 1997), dividindo-se, conforme as quantidades exigidas pelas plantas em macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e micronutrientes, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn).

De modo geral, a absorção dos nutrientes é influenciada por diversos fatores, entre eles a capacidade de exploração do sistema radicular, as condições climáticas, as propriedades dos solos, a disponibilidade de água e nutrientes no solo e o manejo cultural. De maneira geral, a exigência nutricional varia em função do ciclo de desenvolvimento da planta, tanto para macro quanto para micronutrientes, enquanto a

absorção acompanha a taxa de acumulação de matéria seca durante o estágio vegetativo até o final da floração.

A utilização de fertilizantes e corretivos deve basear-se nos resultados obtidos da análise de solo e da planta. As doses dos insumos estão relacionadas à quantidade do elemento absorvido pelas plantas. Porém, a eficiência de resposta da alfafa à aplicação de fertilizantes pode ser afetada por diversos fatores, tais como estágio de crescimento, conteúdo de água no solo, densidade de plantio, temperatura, tipo de solo, teor de matéria orgânica, cultivar e estação do ano. (PLANCQUAERT, 1977; NUERNBERG et al., 1986; HIJANO e NAVARRO, 1995).

Os solos do Brasil são caracterizados por serem intemperizados, geralmente ácidos, pobres em nutrientes e muitas vezes com elevadas saturações de alumínio trocável (BERNARDI et al., 2002). A disponibilidade de nutrientes é influenciada pela acidez do solo (Fig. 2), uma vez que a solubilidade dos compostos minerais e a capacidade de troca de cátions do solo (CTC) estão diretamente relacionadas à atividade hidrogeniônica. A limitação ao desenvolvimento das plantas decorre, principalmente, dos efeitos indiretos do pH, como o aumento da disponibilidade de alumínio e de manganês a níveis tóxicos ou a indução de deficiências de Ca, Mg, P, Fe, Cu e Zn, que prevalecem sobre os efeitos diretos do H^+ (MARSCHNER, 1995).

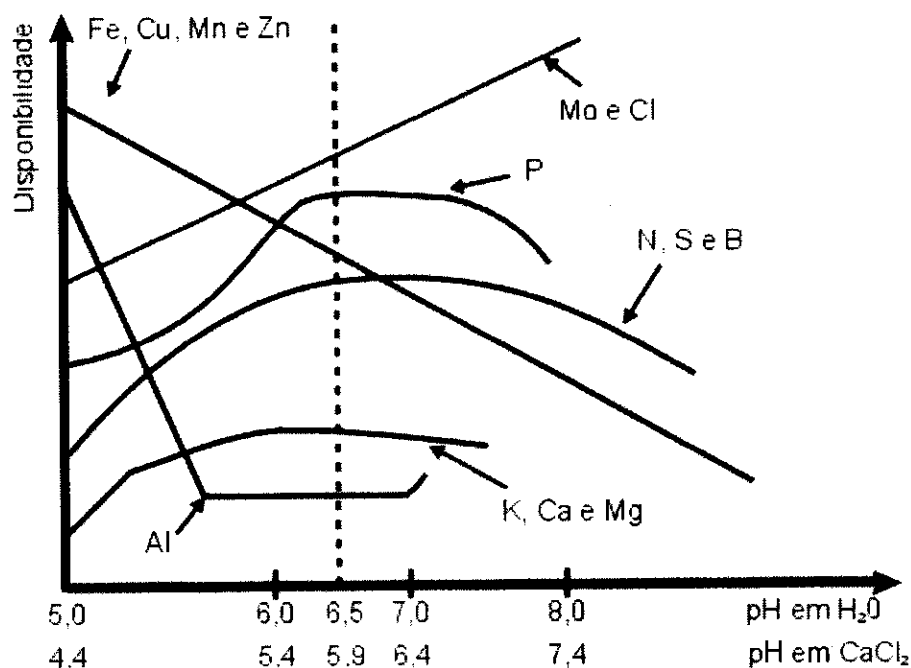


Fig. 2. Relação entre pH e a disponibilidade dos elementos no solo.

Fonte: Malavolta (2006).

Correção da fertilidade do solo

A alfafa é uma planta muito sensível à acidez do solo (MOREIRA et al., 2007), diferente da soja e do milho, que apresentam desenvolvimento adequado mesmo sob 20 % de saturação por alumínio (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999). Nestas condições, em solos com acidez elevada (Fig. 3), o desenvolvimento é drasticamente afetado pelas alterações promovidas no sistema radicular, que começam a apresentar raízes curtas, grossas e bronzeadas. Com a diminuição do volume de solo explorado, as plantas tornam-se mais sensíveis ao déficit hídrico e ao acamamento, reduzem a absorção de nutrientes, limitando severamente os efeitos da adubação.

A prática da correção da acidez dos solos promove a diminuição dos teores disponíveis de alumínio, ferro, manganês, zinco e cobre, mas, por outro lado, aumenta a disponibilidade da maioria dos nutrientes, de maneira que os valores de pH dentro de uma faixa de ligeira acidez determinam o ambiente nutricionalmente mais equilibrado (Fig. 2). Esta faixa, em geral, varia de pH (CaCl₂) 5,2 a 6,0, dependendo do material de origem e do estado de intemperização do solo. A necessidade de utilização de corretivos de acidez do solo é determinada com base na análise química das camadas superficiais (0 cm a 20 cm) e subsuperficiais (20 cm a 40 cm) dos solos.

A alfafa é provavelmente a cultura que remove maiores quantidades de Ca e Mg (Tabela 1) e, dentre as leguminosas, talvez a mais exigente em termos de pH do solo. Quanto ao nível crítico da porcentagem de saturação de Al no solo (m %), a alfafa tem seu desenvolvimento limitado em valores acima de 15 %, valor superado apenas pelo algodoeiro (CARVALHO et al., 1994). Outro problema do complexo da acidez do solo é que a bactéria simbiótica *Sinorhizobium meliloti*, específica para cultura, tem a eficiência na fixação de nitrogênio prejudicada em solos com pH abaixo de 6,8 (HONDA e HONDA, 1990). Para que se obtenha o máximo potencial de produção, Rhykerd Overdahl (1972) recomendam valores de pH entre 6,5 e 7,5, pois abaixo disso a fixação simbiótica do N é severamente afetada.

Tabela 1. Quantidades de Ca e Mg removidas por algumas culturas.

Cultura	Produção (t/ha)	Remoção (kg/ha)	
		Ca	Mg
Alfafa	20 (feno)	224	45
Milho	9 (grãos)	2	16
	11 (colmo + sabugo)	29	34
Algodão	1,2 (fibra)	2	3
Soja	3,4 (grãos)	8	17

Fonte: Honda e Honda (1990).

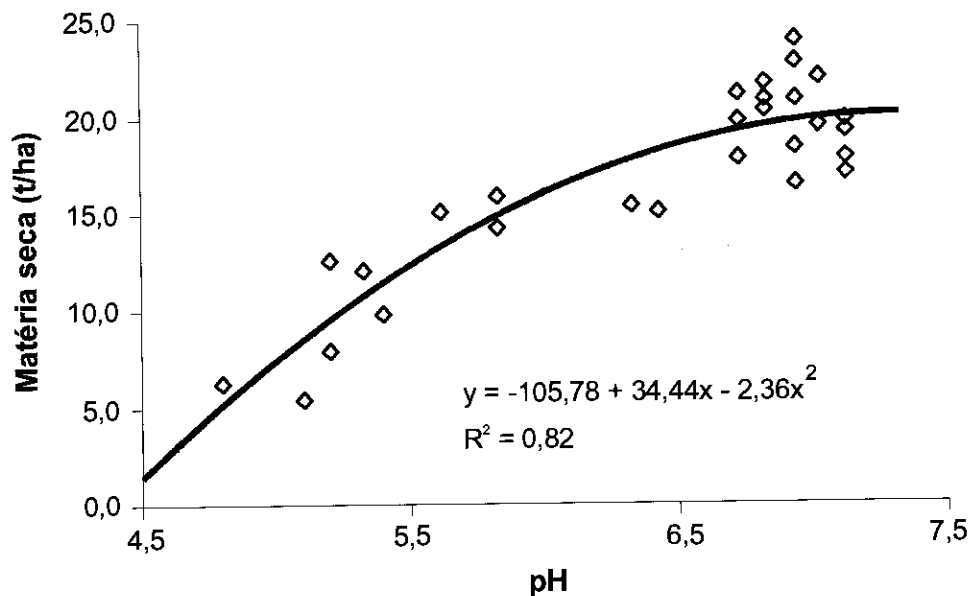


Fig. 3. Efeito do pH do solo sobre a produção do alfafal – $p \leq 0,05$.

Fonte: Undersander et al. (1994).

Para se aumentar a longevidade do alfafal, é necessário obter maior eficiência do sistema radicular na absorção de água e nutrientes por meio da realização de algumas práticas de manejo, tais como, incorporação mais profunda do calcário no estabelecimento da cultura, uso de calcário de qualidade adequada, uso de gesso agrícola, análises anuais de solo e de planta para efeito de calibração do estado nutricional das plantas, controle de pragas e de doenças e utilização da irrigação.

Calagem

Os corretivos são produtos capazes de neutralizar a acidez do solo e ainda fornecer nutrientes. Dentre os materiais que podem ser usados para tal finalidade estão aqueles que contêm como constituinte neutralizante ou princípio ativo, como os óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos (CARVALHO et al., 1994). A calagem, quando executada dentro de critérios bem fundamentados, exerce vários efeitos benéficos na cultura da alfafa, como eliminar ou diminuir significativamente a acidez do solo, reduzir a toxicidade de alumínio e manganês, aumentar a disponibilidade de nutrientes, favorecer a mineralização da matéria orgânica (fonte de N, P, S, B e de outros elementos), aumentar a eficiência da fixação simbiótica do N (Tabela 2), fornecer Ca e Mg, melhorar a eficiência de uso dos adubos potássicos e, principalmente, dos fosfatados (HAVLIN et al., 1999), além de melhorar a atividade microbiana do solo.

Tabela 2. Rendimento de matéria seca da alfafa em resposta à inoculação e peletização dentro de três doses de calcário dolomítico*.

Calcário (t ha ⁻¹)	Técnica de inoculação	Matéria seca (t/ha)
0	Sem inoculação	1,13 e
	Com inoculação	1,23 e
	Peletização	5,58 d
3,0	Sem inoculação	7,58 c
	Com inoculação	7,59 c
	Peletização	8,40 b
6,0	Sem inoculação	8,71 b
	Com inoculação	9,72 a
	Peletização	9,20 b

*Significativo a 5% pelo teste de Duncan. A peletização foi feita utilizando-se carbonato de cálcio em pó e solução adesiva de goma arábica a 40 %.

Fonte: Kolling et al. (1988).

A necessidade de calcário não está somente relacionada ao pH do solo, mas também ao seu poder tampão e ao aumento da capacidade de troca de cátions. Os trabalhos realizados para avaliação do efeito residual da calagem (KORNELIUS e RITCHEY, 1992) e das relações Ca e Mg (MOREIRA et al., 1999; GOMES et al., 2002) mostraram que o valor de saturação por bases (V %) para alfafa deve estar acima de 95 %. No entanto, atualmente o valor utilizado para correção da acidez é a elevação da saturação para 80 %, tanto nas fases de formação como na de manutenção da cultura (WERNER et al., 1996).

No Brasil, dependendo da região, a recomendação da quantidade de calcário pode ser feita por três metodologias:

a) Método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de cálcio e magnésio trocáveis (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999) – para se definir a quantidade são considerados o poder tampão do solo, em função da textura (Y), a tolerância máxima de 5 % de saturação por alumínio (m %) e uma exigência mínima de 3,0 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺+Mg²⁺ para a cultura da alfafa.

$$NC \text{ (t/ha)} = \{Y [Al^{3+} - (5 \times \frac{t}{100})] + [3 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]\} \times f,$$

onde:

t = capacidade de troca de cátions efetiva do solo, em cmol_c/dm³;

Y = 0,0302 + 0,06532 r - 0,000257 r²;

r = teor de argila do solo, em %;

f = fator de correção do PRNT do calcário f = 100/PRNT.

b) Método da saturação por bases (V %) - baseia-se na relação existente entre o pH e a V %, que indica a disponibilidade média de nutrientes no solo. Para esta recomendação, são considerados o poder tampão do solo, estimado pela CTC, o estado de fertilidade atual e a exigência nutricional da cultura, definidos pela saturação por bases (RAIJ et al., 1997).

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{(V_2 - V_1) \times CTC}{PRNT}$$

onde:

V_1 = valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção. [$V_1 = 100 \cdot (S/CTC)$] sendo:

$S = \Sigma(Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+)$ (cmol_c/dm³);

V_2 = valor da saturação por bases trocáveis, indicada para alfafa 80 % (WERNER et al., 1996);

CTC = capacidade de troca de cátions, $CTC = \Sigma[S, (H^+ + Al^{3+})]$ (cmol_c/dm³);

c) Método do tampão SMP - é utilizado na determinação da dose de calcário para as culturas implantadas nos Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina - as quantidades de calcário recomendadas visam elevar o pH do solo para valores que variam em função do grau de tolerância das culturas à acidez do solo, tendo como princípio a relação inversa existente entre o índice de pH_{SMP} e a quantidade de calcário necessária para se elevar o pH do solo a determinado valor que, conforme já foi descrito, varia de acordo com a cultura a ser implantada. Isso acontece uma vez que a diminuição nos índices de pH_{SMP} implica em maior presença de íons geradores de acidez no solo, e, por conseguinte, em maior necessidade de calagem por área. A determinação da calagem é calculada com base no índice de pH_{SMP} da amostra de solo analisada e no grau de tolerância da cultura à acidez do solo (TEDESCO et al., 2004).

Normalmente, os métodos de recomendação de calcário consideram uma profundidade de incorporação de 0 cm a 20 cm. Quando a profundidade de incorporação do calcário for superior a este valor, deve-se corrigir a quantidade proporcionalmente ao volume de solo. No entanto, em plantios já instalados, com a aplicação de calcário superficial, deve-se proceder à amostragem de solo em duas camadas (0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm) e, a partir da média dos valores obtidos para as duas profundidades, aplica-se uma quantidade equivalente a 1/3 da dose recomendada.

Para aumentar sua eficiência como corretivo, o calcário deve ser incorporado o mais profundo possível, de um a dois meses antes do plantio, distribuindo-se, de

preferência, metade da dose antes da aração e a outra metade antes da gradagem (BARCELLOS, 1990). Devido à presença de grandes jazidas em várias regiões do Brasil, o calcário é o produto mais utilizado na correção da acidez. Entretanto, na sua escolha, deve-se atentar para sua qualidade, dando preferência ao dolomítico e aos corretivos com PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) igual ou superior a 80 %.

A alfafa responde pouco à relação Ca:Mg, resultados esses demonstrados por Hunter (1948), nos Estados Unidos, e por Moreira et al. (1999) e Gomes et al. (2002), nas condições de cerrado de Minas Gerais. Neste último, o excesso de Mg na relação teve efeito negativo sobre a produção de forragem (Tabela 3).

Tabela 3. Influência da relação Ca:Mg na produção de matéria seca da alfafa*.

Hunter (1948)		Moreira et al. (1999)		Gomes et al. (2002)	
Ca:Mg	(t/ha)	Ca:Mg	(g/vaso)	Ca:Mg	(g/vaso)
1:4	4,1 a	1:0	10,3 a	4:0	13,53 a
1:1	4,7 a	1:1	10,2 a	3:1	13,29 a
4:1	4,2 a	2:1	10,2 a	1:1	13,91 a
8:1	4,2 a	3:1	11,2 a	1:3	10,54 b
16:1	4,4 a	4:1	9,6 a	0:4	0,00 c
32:1	4,3 a				

*Significativo a 5% pelo teste de Tukey.

Gessagem

Após a implantação do alfafal, não há mais possibilidade de incorporação de nutrientes imóveis no solo (P, Ca e Mg). Dessa forma, as adubações posteriores deverão ocorrer em superfície ou por via foliar. Devido às suas características físico-químicas, e a aplicação de gesso pode compensar esse efeito carreando os íons, especialmente os cátions, melhorando o ambiente em subsuperfície, sem a necessidade de incorporação do corretivo. Outra vantagem é que a gessagem pode corrigir a acidez das camadas profundas, favorecendo a produção e a longevidade das culturas (CARVALHO e RAIJ, 1997).

Para os solos das regiões tropicais, a utilização do gesso se torna eficiente quando, nas camadas subsuperficiais do solo, a saturação por Al for maior que 40 % ou o teor de Ca for menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

As fórmulas sugeridas para a recomendação de gesso são apresentadas a seguir. A aplicação pode ser feita a lanço sem incorporação, antes ou depois do calcário.

- a) CaSO_4 (kg/ha) = $5,0 \times \text{teor argila (g/kg)}$ – (TOMÉ JUNIOR, 1997);
b) Dose (kg/ha de S) = $40 - (\text{teor médio de S no solo} \times 4)$ – (REIN e SOUSA, 2004).

Nitrogênio (N)

A alfafa é uma leguminosa que apresenta alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), de forma que não é recomendado o emprego de fertilizantes nitrogenados na cultura já estabelecida (NUERNBERG et al., 1990; DÍAZ e GAMBAUDO, 2007). Todavia, se não houver restituição do teor de Ca removido no processo de colheita da forragem e aumento do pH, condições essas favoráveis para o desenvolvimento das bactérias, a eficiência na fixação de N é severamente afetada (LIMA, 1959).

Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, com condições edafoclimáticas favoráveis, a alfafa pode produzir o ano todo; nesses locais, o potencial aproximado na fixação de N é de 900 kg/ha/ano, ou seja, o dobro do encontrado em regiões de clima temperado (OLIVEIRA et al., 1999). Sob irrigação, mais de 80 % do N contido na parte-aérea de plantas de alfafa é originado do processo de FBN (OLIVEIRA et al., 2003; DÍAZ e GAMBAUDO, 2007; MOREIRA et al., 2007). Rando et al. (1994), em Latossolo Roxo eutrófico no município de Bandeirantes, região norte do Paraná, observaram que, em áreas onde anteriormente havia sido cultivada com a alfafa, as estirpes presentes no solo foram eficientes na nodulação e suprimento adequado de N para as plantas. Mesmo assim, devido ao baixo custo, a reinoculação torna-se necessária se optar por plantar novamente alfafa na mesma área.

O pequeno tamanho e, em conseqüência, a pouca reserva das sementes, mostraram influência positiva de baixas concentrações de N sobre a nodulação e na atividade da enzima nitrogenase como fornecedora de pequenas quantidades de N entre a fase inicial de germinação e efetivação do processo simbiótico entre a bactéria e a alfafa (OLIVEIRA et al., 1999).

A despeito da sua habilidade de, simbioticamente, fixar o N atmosférico, os resultados de experimentos de campo sobre a fertilização nitrogenada da alfafa ainda não são conclusivos. Fontes et al. (1992) verificaram que, mesmo com a inoculação da semente, a adição de nitrogênio aumentou a produção e o teor de proteína bruta (Fig. 4). Entretanto, o aumento médio foi da ordem de 1,6 kg de matéria seca por 1,0 kg de N adicionado, indicando baixa conversão do N aplicado sobre a produção.

As plantas adubadas com N apresentam reduzida nodulação e baixa atividade da enzima nitrogenase, o que sugere efeito negativo do N originário de adubos nitrogenados sobre o processo de infecção e formação dos nódulos radiculares (TSAI et al., 1993). Heichel e Vance (1979) verificaram que a aplicação de N no meio diminui a porcentagem de nodulação, passando de 87 % na ausência para 53 %, com adição de 50 mg/mL de N. A produção de matéria seca aumentou com o incremento da disponibilidade de N no meio, independentemente da ocorrência de inoculação ou não.

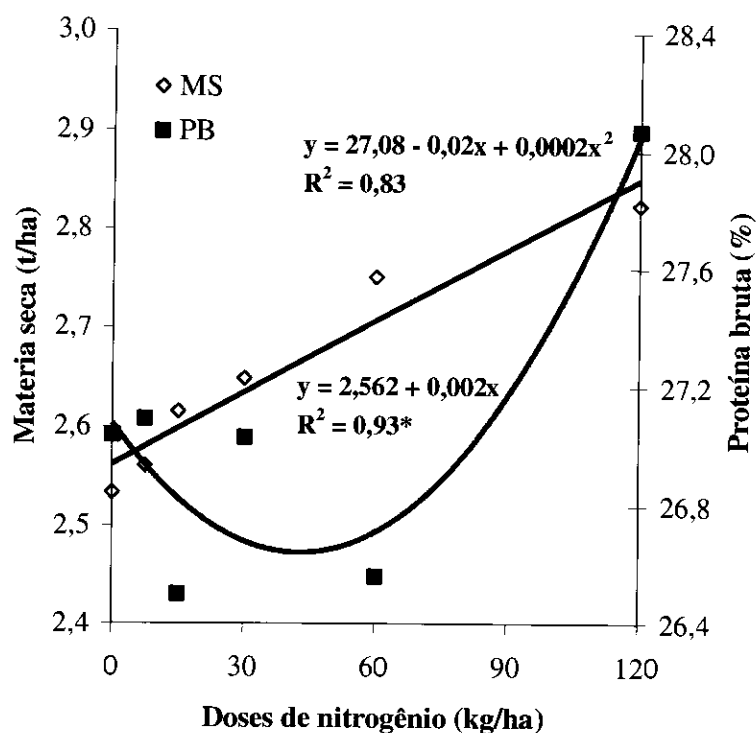


Fig. 4. Produção de matéria seca e teor de proteína bruta em função das doses de N - $p \leq 0,05$.

Fonte: Adaptado de Fontes et al. (1992).

Fósforo (P)

No Brasil, o P é o elemento cuja falta limita mais freqüentemente a produção agrícola. Cerca de 90 % das análises feitas no país mostram que os teores de P disponível no solo são comumente baixos, podendo ser inferiores a $1,0 \text{ mg/dm}^3$ quando avaliados pelo extrator Mehlich 1 (GOEDERT et al., 1985).

Devido às diferenças entre os protocolos analíticos utilizados para determinação do P disponível, existem diferenças nos níveis críticos e nos critérios de interpretação. Em São Paulo utiliza-se o método da resina, enquanto nos demais estados, o método oficial é o Mehlich 1. Nas Tabelas 4 e 5, estão os limites e as

classes de interpretação dos teores de fósforo disponível extraído com a resina, Mehlich 1 e P remanescente.

Tabela 4. Limites de interpretação de teores de potássio e de fósforo (extraído pela resina) em solos do Estado de São Paulo.

Teor	Produção relativa	K trocável	P resina	
			Perenes	Anuais
	%	mmol/dm ³	mg/dm ³	
Muito baixa	0-70	0,0-0,7	0-5	0-6
Baixo	71-90	0,8-1,5	6-12	7-15
Médio	91-100	1,6-3,0	13-30	16-40
Alto	>100	3,1-6,0	31-60	41-80
Muito alto	>100	>6,0	>60	>80

Fonte: Rajj et al. (1997).

Tabela 5. Classes e limites de interpretação da disponibilidade de fósforo (Mehlich 1) em função dos teores de argila de P remanescente (P-rem), para solos do Estado de Minas Gerais.

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
	----- mg/dm ³ -----				
Argila (%)					
60-100	≤ 2,7	2,8 – 5,4	5,5 – 8,0	8,1 – 12,0	> 12,0
35-60	≤ 4,0	4,1 – 8,0	8,1 – 12,0	12,1 – 18,0	> 18,0
15-35	≤ 6,6	6,7 – 12,0	12,1 – 20,0	20,1 – 30,0	> 30,0
0-15	≤ 10,0	10,1 – 20,0	20,1 – 30,0	30,1 – 45,0	> 45,0
P-rem (mg/L)					
0-4	≤ 3,0	3,1 – 4,3	4,4 – 6,0	6,1 – 9,0	> 9,0
4-10	≤ 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 8,3	8,4 – 12,5	> 12,5
10-19	≤ 6,0	6,1 – 8,3	8,4 – 11,4	11,5 – 17,5	> 17,5
19-30	≤ 8,0	8,1 – 11,4	11,5 – 15,8	15,9 – 24,0	> 24,0
30-44	≤ 11,0	11,1 – 15,8	15,9 – 21,8	21,9 – 33,0	> 33,0
44-60	≤ 15,0	15,1 – 21,8	21,9 – 30,0	30,1 – 45,0	> 45,0

Fonte: Alvarez Venegas et al. (1999).

Embora o P seja exigido em quantidades menores pela alfafa quando comparado com N, K e Ca (MOREIRA, 1997; MOREIRA et al., 2007), é o nutriente que tem apresentado as maiores e as mais freqüentes respostas quando aplicado. De acordo com Sarmento et al. (2001), devido ao baixo nível de P nos solos, a longevidade da cultura e a produção estão diretamente dependentes da adubação

fosfatada para o estabelecimento e a manutenção da população de plantas ou "estande".

A aplicação de P depende das características físicas e químicas do solo, sendo, preferencialmente, efetuada em duas ocasiões, por ocasião do plantio, conforme necessidade ou de forma repositiva, de acordo com a quantidade extraída em cada corte (OLIVEIRA et al., 1999). A solubilidade de várias formas de P no solo é diretamente relacionada ao pH. Os fosfatos de ferro, manganês e alumínio apresentam baixa solubilidade em água e predominam em solos ácidos. Os compostos insolúveis de cálcio e magnésio existem acima de pH 7,0, enquanto as formas mais solúveis de P estão na faixa de pH entre 6,0 a 7,0 (Fig. 5), considerada como ótima para o cultivo da alfafa. (HONDA e HONDA, 1990).

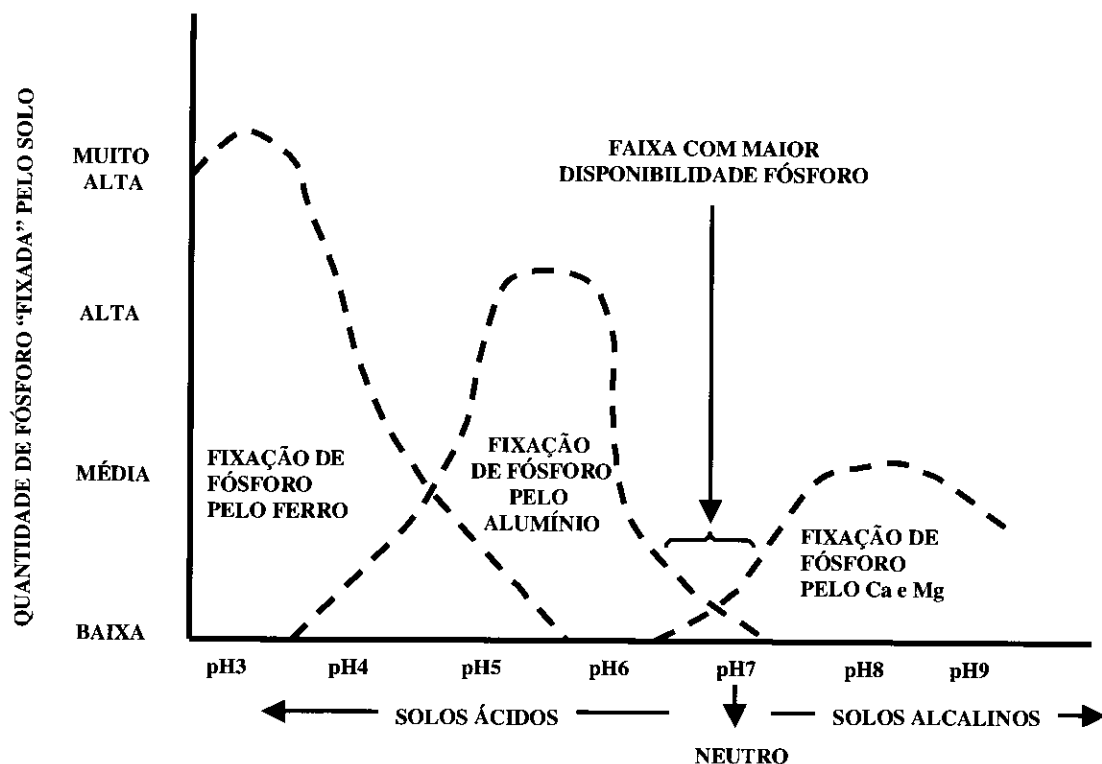


Fig. 5. Curva de disponibilidade de P em função do pH do solo.

Fonte: Adaptado de Honda e Honda (1990) e de Malavolta (2006).

No Estado de São Paulo, Moreira et al. (2002a) estudaram a eficiência dos fosfatos naturais reativos, termofosfatos e superfosfato triplo para alfafa. Os resultados mostraram que a fonte que apresentou maior eficiência foi o termofosfato, com aumento significativo do pH do solo, seguido pelo superfosfato triplo, que apresentou efeito acidificante. Mesmo apresentando menor eficiência nas condições estudadas, os fosfatos naturais tenderam a se equiparar às outras duas fontes mais solúveis a partir do quarto corte, o que sugere a aplicação de fontes prontamente solúveis no

estabelecimento da cultura e a possibilidade de substituição dessas por fosfatos naturais solúveis após o quarto corte, quando for economicamente vantajoso.

Independentemente da fonte utilizada, o aumento da disponibilidade de P afeta positivamente a quantidade e distribuição do sistema radicular da alfafa (MOREIRA, 1997), encontrando-se, devido à baixa mobilidade de P no perfil do solo, cerca de 80 % das raízes na camada de 0 cm a 20 cm. Segundo Lanyon e Griffith (1988), em solos com baixos teores de P, raízes infectadas com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares têm maior eficiência na interceptação do fósforo na solução do solo, com incremento da produção e do teor foliar.

Moreira e Malavolta (2001) realizaram um experimento conduzido em vasos com fontes e doses de P em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com teores de P disponível determinado por resina e Mehlich 1 (duplo ácido) de 4,0 mg/kg e 5,0 mg/kg, respectivamente, verificando que a produção da alfafa é muito reduzida na ausência da adubação fosfatada. A dose estimada para obtenção da produção máxima foi de 179,5 mg/kg de P, o que equivale a 820 kg/ha de P_2O_5 (Fig. 6).

A recomendação para o Estado de São Paulo é de 150 kg/ha; 130 kg/ha; 100 kg/ha e 50 kg/ha de P_2O_5 (WERNER et al., 1996), quando os níveis de P extraído por resina forem de 0 mg/dm³ a 6 mg/dm³; 7 mg/dm³ a 15 mg/dm³; 15 mg/dm³ a 40 mg/dm³ e maior que 40 mg/dm³, respectivamente. Nesse caso, a recomendação da adubação de reposição variou de 40 kg/ha a 100 kg/ha de P_2O_5 , dependendo do teor de P no solo. Em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, Tedesco et al. (2004) definiram como níveis críticos os teores de 6 mg/kg, 14 mg/kg e 24 mg/kg de P para solos com teores de argila maiores que 55 %, de 26 % a 44 % e menores que 10 %, respectivamente. Dependendo do teor de P no solo, as doses recomendadas variam de 50 kg/ha a 180 kg/ha/ano de P_2O_5 no plantio, com uma adubação de manutenção da ordem de 110 kg/ha de P_2O_5 por ano. Para o Estado de Minas Gerais, Evangelista e Reis (1995) indicaram esses mesmos valores para a faixa de adubação de plantio e para a adubação anual de reposição.

Um dos fatores das variações nas recomendações verificadas entre os estados brasileiros é o extrator utilizado na determinação do P disponível. Com exceção do Estado de São Paulo, em que o método oficial é o da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001), o método utilizado nos demais estados é o uso da solução formada pela mistura de 0,05 mol/L de HCl + 0,025 mol/L de H_2SO_4 , conhecida como Mehlich 1 ou duplo ácido (Embrapa, 1997). A vantagem desse último método é o baixo custo, mas em algumas situações, como a utilização de fosfatos naturais não reativos, o extrator Mehlich 1 pode superestimar a quantidade de P disponível, o que não ocorre com a resina.

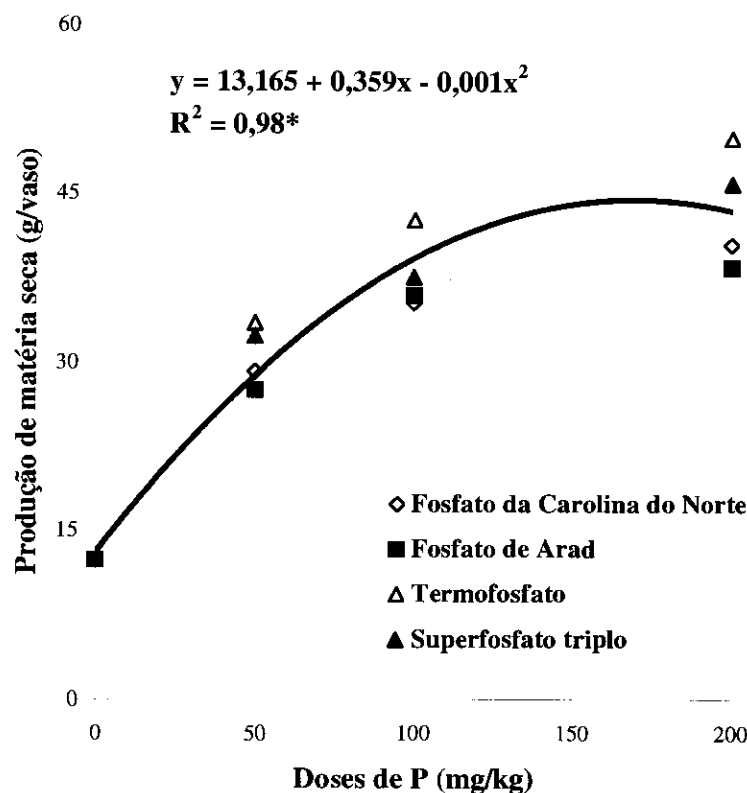


Fig. 6. Efeito das fontes e doses de P sobre a produção de matéria seca da alfafa - $P \leq 0,05$.

Fonte: Moreira e Malavolta (2001).

Potássio (K)

O K é o nutriente mais requerido pela alfafa (RASSINI, 1998; BERNARDI et al., 2006), porém, é o mais negligenciado nas recomendações de adubação. Uma comparação com outras culturas mostra que a alfafa é uma das culturas que mais exporta K. Em termos de porcentagem de extração do nutriente por cultura, esta só é menor que a extração da soja e do feijão (Tabela 6). Por ser um dos nutrientes extraídos em maiores quantidades do solo, a produção de forragem de alfafa exige especial atenção à adubação potássica (SMITH, 1975a; VOUGH e DECKER, 1992; LANYON e SMITH, 1985). Lloveras et al. (2001) verificaram extrações de 1500 kg/ha a 1700 kg/ha, com produtividade de 21,5 t/ha de MS, em solo de alta fertilidade.

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, do fluxo de massa. Os sais de K geralmente apresentam 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).

A deficiência desse macronutriente nas plantas afeta seu crescimento vegetativo e sua produtividade (GREWAL e WILLIAMS, 2002; MOREIRA et al., 2007). Em quantidades adequadas, aumenta a persistência e a longevidade do alfafal (BERG et al., 2005), e também a sua tolerância às baixas temperaturas (HONDA e HONDA, 1990). Além de estimular o crescimento da parte aérea das plantas, o potássio aumenta a nodulação (número e tamanho dos nódulos) e a fixação de nitrogênio (COLLINS et al., 1986).

A disponibilidade de K tem sido associada à fixação de N₂ na cultura por vários autores. Rando e Silveira (1995) observaram que as concentrações de nitrogênio aumentaram quando o potássio era aplicado num solo com baixa disponibilidade do nutriente. Honda e Honda (1990) destacaram que o potássio é o fertilizante chave para o rendimento elevado e a alta qualidade da alfafa, uma vez que, bem nutridas, as plantas aumentam sua capacidade de utilizarem melhor o nitrogênio e transformá-lo em proteína. Grewal e Williams (2002) verificaram que o aumento do suprimento de potássio para as plantas diminui a desfolha e a severidade da doença "pinta preta", causada pelo fungo *Pseudopeziza medicaginis*.

Para diminuir as perdas, a adubação potássica deverá ser feita no plantio e em cobertura, parceladamente após cada corte. Em condições de clima temperado, o parcelamento do K somente será eficiente se as quantidades a aplicar forem maiores que 446 kg/ha de K₂O (LANYON e GRIFFITH, 1988). Com valores acima deste, a aplicação deve ser parcelada a fim de se evitar injúrias nas plantas pela alta concentração do cloreto contido no KCl (cloreto de potássio), que é a principal fonte atualmente utilizada (SMITH, 1975a).

Tabela 6. Produção, quantidade de K₂O extraído e porcentagem exportada em relação à produção.

Cultura	Produção (t/ha)	K ₂ O extraído (kg/ha)	Porcentagem (%)
Alfafa ⁽¹⁾	20,0	493	2,47
Milho ⁽²⁾	9,5	224	2,36
Gramma Bermuda ⁽¹⁾	25,0	470	1,88
Soja ⁽²⁾	3,5	134	3,80
Cana-de-açúcar ⁽¹⁾	134,0	184	0,13
Feijão ⁽²⁾	2,0	64	3,20
Mandioca ⁽³⁾	40,0	148	0,37

⁽¹⁾ Matéria verde, ⁽²⁾ grãos, ⁽³⁾ raízes tuberosas.

Fonte: Adaptado de Honda e Honda (1990).

O índice mais utilizado para avaliar a disponibilidade de potássio é a concentração de K trocável, que representa uma boa referência para a adubação. As faixas de interpretação para potássio utilizadas em São Paulo, Minas Gerais e na região dos Cerrados é apresentada na Tabela 7. A alfafa também pode absorver K das frações não trocáveis do solo, porém os métodos de análise de rotina ainda não indicam a contribuição dessas formas (VOUGH e DECKER, 1992; LLOVERAS et al., 2001).

Tabela 7. Faixas de interpretação e níveis críticos para potássio no solo.

Interpretação	SP ⁽¹⁾	RS e SC ⁽²⁾	MG ⁽³⁾	Cerrados ⁽⁴⁾	
	Resina	----- Mehlich 1 -----		CTC cmol _e /dm ³ - Mehlich 1	
				< 4	> 4
	----- K (mg/dm ³) -----				
Muito baixo	< 30	< 18	< 15	< 15	< 25
Baixo	31 - 58	–	16 - 40	16 - 30	26 – 50
Médio	59 - 117	36	41 - 70	31 - 40	51 – 80
Alto	118 - 235	–	71 - 120	> 51	> 81
Muito alto	> 236	> 72	> 120	–	–
Nível crítico	115	–	70	40	80

Fonte: ⁽¹⁾ Rajj et al. (1997); ⁽²⁾ Tedesco et al. (2004); ⁽³⁾ Alvarez Venegas et al. (1999); ⁽⁴⁾ Vilela et al. (2002).

Nas condições do Estado de São Paulo, Rassini e Freitas (1998) realizaram um experimento em condições de campo, em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, verificando que a alfafa apresentou resposta linear no rendimento de matéria seca com a adubação de cobertura até a dose de 100 kg/ha de K₂O por corte (Fig. 7), mesmo com a aplicação de 150 kg/ha de K₂O antes do plantio. Os autores também relataram que não houve sintomas visuais de fitotoxidez. Com essa dose, os níveis no solo estavam altos após o último corte, da ordem de 0,53 cmol_e/dm³. Nesse mesmo local, Bernardi et al. (2007) realizaram experimento com doses e freqüências de fornecimento de fertilizante potássico e obtiveram respostas quadráticas à adubação potássica; a produção máxima de 14 t/ha de MS foi obtida com a dose de 124 kg/ha de K₂O, com aplicações após cada corte. Essa produtividade foi equivalente às obtidas nas freqüências de adubação a cada 2 e 3 cortes. A produção máxima obtida no tratamento com duas aplicações anuais de adubo foi cerca de 10 % menor que a média dos outros tratamentos (Fig. 8).

Visando conhecer as necessidades da cultura no Norte do Paraná, Rando (1993) verificou que a adubação potássica realizada na cultivar Crioula, em Latossolo Vermelho eutrófico, incrementou a produção de matéria seca em todos os oito cortes realizados. As aplicações de 150 kg/ha, 300 kg/ha e 600 kg/ha de K_2O resultaram em aumentos de 22 %, 41 % e 45 %, respectivamente, no rendimento de matéria seca. De acordo com a equação de regressão ($\hat{y} = 12759,94 + 24,6923x - 0,02464x^2$) ajustada entre as doses (x) e a produção (\hat{y}), a maior produção estimada na soma dos oito cortes foi alcançada com aplicação de 500 kg/ha de K_2O . No mesmo trabalho, Rando (1995) estipulou que para se obter 90% da produção máxima, a alfafa exigiria 132 kg/ha de K_2O no primeiro corte, enquanto na soma do primeiro e do segundo, a exigência foi de 217 kg/ha de K_2O .

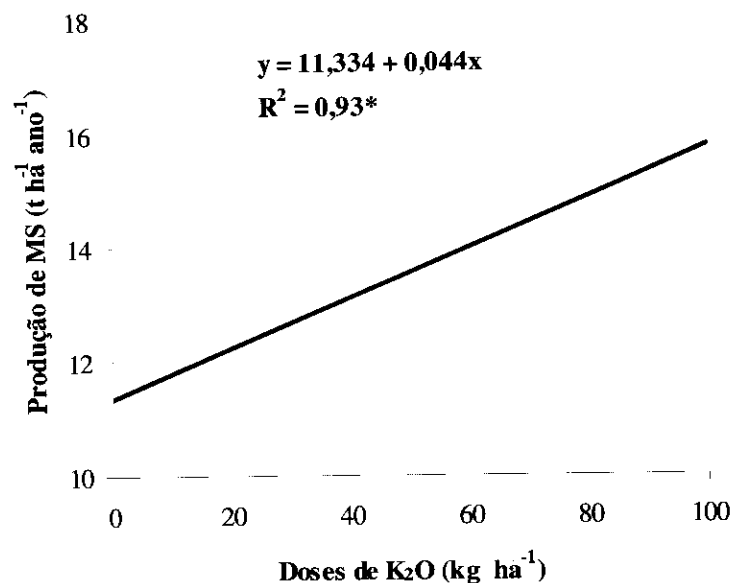


Fig. 7. Estimativa da produção média de matéria seca (MS) de alfafa (t/ha/ano), em função de seis doses de potássio - $p \leq 0,05$.

Fonte: Rassini e Freitas (1998).

O principal critério para recomendação de adubação deve ser a disponibilidade de K no solo (BERNARDI et al., 2006). Para efeitos práticos de cálculo, considera-se que 1.000 kg/ha de K_2O elevam o teor de K no solo em $1,0 \text{ cmol/dm}^3$ (resina). As doses de K podem ser calculadas com base na análise de solo e na textura, para elevar os teores do nutriente em 3,0 % e 2,0 % da capacidade de troca de cátions (CTC), respectivamente, para solos argilosos e arenosos. A relação $\frac{K}{(Ca + Mg)}$ aparentemente não é relevante, desde que atendidos os níveis de suficiência e evitando-se que ocorram desequilíbrios com os teores de cálcio e de magnésio como nutrientes.

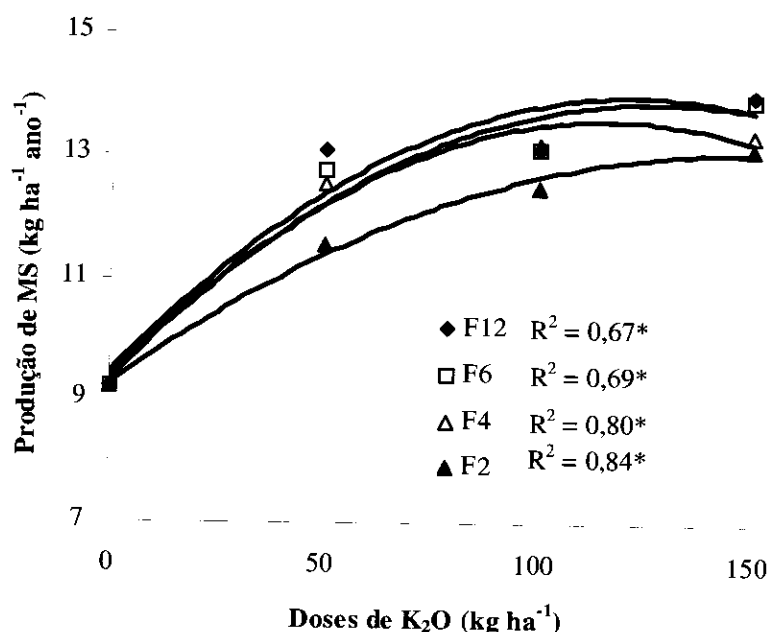


Fig. 8. Estimativa da produção média de matéria seca de alfafa, em função das doses de potássio e frequências de aplicação - $p \leq 0,05$.

Fonte: Bernardi et al. (2007).

Para o Estado de Minas Gerais, Evangelista e Reis (1995) recomendam a aplicação de 300 kg/ha a 400 kg/ha de K_2O no plantio e de 400 kg/ha de K_2O na adubação de reposição. No Estado de São Paulo, as doses indicadas são de 160 kg/ha; 130 kg/ha; 100 kg/ha e 60 kg/ha de K_2O , quando os teores de K no solo forem entre 0 $cmol/dm^3$ a 0,7 $cmol/dm^3$; 0,8 $cmol/dm^3$ a 1,5 $cmol/dm^3$; 1,6 $cmol/dm^3$ a 3,0 $cmol/dm^3$ e acima de 0,3 $cmol/dm^3$, respectivamente (WERNER et al., 1996). Os mesmos autores recomendam aplicar 60 kg/ha de K_2O por ocasião da semeadura e o restante em cobertura em cerca de 30 e 40 dias após o plantio; a adubação de manutenção recomendada varia de 15 kg de K_2O a 35 kg de K_2O por tonelada de matéria seca, em função do teor de K no solo aplicada após cada corte.

No caso do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação da adubação potássica é de 460; 420; 380; 340; 300 e menor de 300 kg/ha de K_2O para os seguintes teores: menos de 20 mg/dm^3 ; 21 mg/dm^3 a 40 mg/dm^3 ; 41 mg/dm^3 a 60 mg/dm^3 ; 61 mg/dm^3 a 80 mg/dm^3 ; 81 mg/dm^3 a 120 mg/dm^3 e mais de 120 mg/dm^3 de solo ou em $cmol/dm^3$, menos de 5; 6 a 10; 11 a 15; 16 a 20; 21 a 30 e mais de 30 (extrator Mehlich 1). Nas condições edafoclimáticas da região, a adubação de reposição de 400 kg/ha^1 de K_2O deve ser parcelada em duas aplicações, um terço no outono e dois terços na primavera (TEDESCO et al., 2004).

Enxofre (S)

A alfafa é uma cultura relativamente exigente em S (NUERNBERG et al., 1990), sendo também, muito importante em combinações com o N na síntese de proteína, na composição de alguns aminoácidos essenciais, como cistina, metionina e cisteína e na composição de algumas vitaminas (RHYKERD e OVERDAHL, 1972).

No solo, quantidades consideráveis de S são retidas na matéria orgânica, que pela atividade microbiana são convertidas em produtos disponíveis à planta. Nesse caso, grande parte permanece na solução do solo. No caso do sulfato, este também pode atuar como carreador de cátions (K, Ca e Mg) no perfil do solo. Em solos com baixos teores de bases trocáveis, o sulfato pode induzir a deficiência desses nutrientes. A Tabela 8 mostra a classificação dos teores de S verificados em 90.000 amostras de solo brasileiros (MALAVOLTA, 2006), na qual se pode observar que 76 % dos solos apresentaram níveis baixos ou muito baixos.

O teor de S-total no solo é bastante variável, sendo maior nas regiões de clima temperado e menor nas regiões tropicais. O valor mínimo para os solos do agreste de Pernambuco é de 20 mg/kg, para os Estados de São Paulo e Paraná esses valores estão entre 43 mg/kg e 398 mg/kg, enquanto para os solos do Rio Grande do Sul, o valor médio encontrado foi de 235,1 mg/kg (WOLFFENBÜTTEL e TEDESCO, 1981).

Mesmo em solos cujo conteúdo de S disponível é considerado suficiente, a aplicação do nutriente duplicou a produção de matéria seca da alfafa, passando de 4,0 para 9,4 t/ha e 9,7 t/ha com o emprego de 56 kg/ha de S na forma de enxofre elementar e de gesso, respectivamente; houve, ainda, aumento no teor de proteína na planta (GRIFFITH, 1974).

Visando conhecer as necessidades de adubação com S para a cultura da alfafa, Moreira et al. (1997a) conduziram um experimento em casa de vegetação, com Latossolo Vermelho escuro distrófico, fase cerrado, testando quatro doses de S na forma de gesso. Os autores verificaram efeito positivo na produção de matéria seca e no teor de proteína bruta (Fig. 9). Jones e Quagliato (1970), em Latossolo Vermelho Escuro, de Orlandia, SP, também observaram aumento da produção de matéria seca com o incremento de S no solo.

Em relação ao efeito benéfico na resposta da alfafa ao enxofre, Rando e Silveira (1995) verificaram, nas condições edáficas de Bandeirantes, Estado do Paraná, que o rendimento de matéria seca aumentou significativamente com o incremento das doses, independentemente da concentração de K no solo, sendo que a presença de 100 mg/kg e 300 mg/kg de K foram as que ocasionaram as maiores produções em função da aplicação de S.

Tabela 8. Classificação dos teores de S disponível em 90.000 amostras de solo.

Classificação	S	
	Teor	Total
	mg/dm ³	%
Muito baixo	< 5	45
Baixo	6 - 10	21
Média	11 - 15	12
Alto	16 - 20	22
Muito Alto	> 20	0

Fonte: Malavolta (2006).

Para os solos de cerrado do sul de Minas Gerais, Moreira et al. (1997a) recomendam a aplicação de 200 kg/ha de S por ocasião do plantio. Para o Estado de São Paulo, a quantidade indicada por Werner et al. (1996) é de 50 kg/ha de S aplicada na época de plantio; na adubação de reposição, recomendam 4 kg/ha de S por tonelada de MS produzida. No caso do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, levando-se em conta o teor existente no solo e o que é retirado pela cultura anualmente, podem ser usadas doses próximas a 30 kg/ha/ano de S (NUERNBERG et al. 1990).

Na região norte do Estado do Paraná, a recomendação adaptada de Rando e Silveira (1995) para Latossolo Vermelho eutrófico é de 45 kg/ha/ano de S no plantio. Se for utilizado o superfosfato simples (12 % de S), a dose de S deve ser recalculada em função da quantidade recomendada pela adubação.

Micronutrientes

Os micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) são elementos essenciais para o crescimento das plantas, mas, exigidos em quantidades menores que os macronutrientes. No Brasil, os teores disponíveis de Fe, Mn, Zn e Cu em solo são avaliados pelos seguintes extratores: DTPA-TEA, pH 7,0 e Mehlich 1. O boro, em todas as regiões, é extraído por água quente na presença ou não de cloreto de bário. No Estado de São Paulo, a disponibilidade dos micronutrientes é avaliada com o extrator DTPA-TEA (Tabela 9). Nos demais estados, os limites de interpretação são com o Mehlich 1 (Tabela 10).

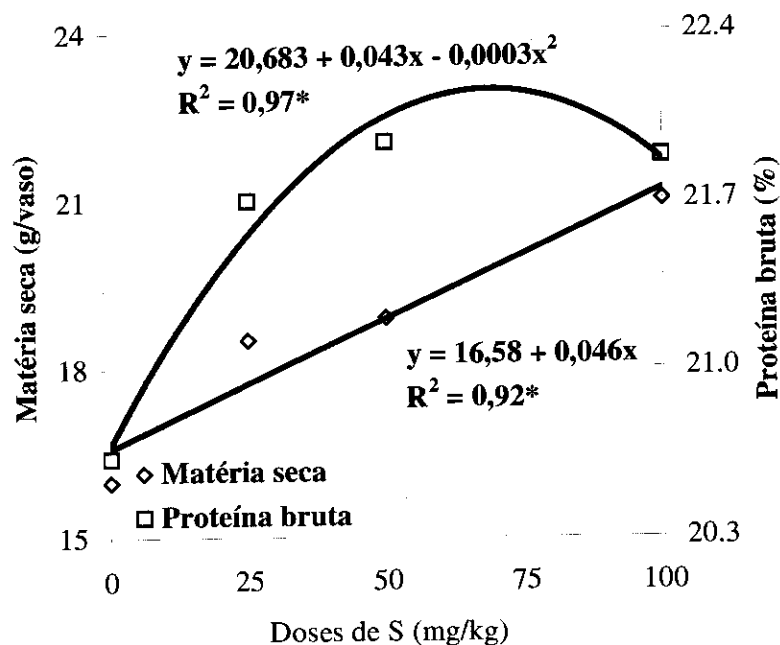


Fig. 9. Produção de matéria seca e proteína bruta em função das dose de S aplicadas na forma de gesso - $p \leq 0,05$.

Fonte: Moreira et al. (1997a).

Estudos realizados nas condições tropicais com micronutrientes na cultura da alfafa são poucos, sendo encontrados somente os de Malavolta et al. (1953) e Santos et al. (2004), com B, Kornelius e Ritchey (1992) com efeito residual de Zn combinado com calcário e o de Mn, realizado por Coutinho et al. (2007) (Fig. 10). Em todos esses ensaios, houve incrementos significativos na produção de matéria seca com a aplicação dos micronutrientes.

Tabela 9. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos com o extrator DTPA-TEA.

Teor	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Água quente	DTPA-TEA			
	mg/dm ³				
Baixo	0-0,2	0-0,2	0-4	0-1,2	0-0,5
Médio	0,21-0,6	0,3-0,8	5-12	1,3-5,0	0,6-1,2
Alto	>0,6	>0,8	>12	>5,0	>1,2

Fonte: Rajj et al. (1997).

Tabela 10. Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes em solos com o Extrator Mehlich 1.

Micronutrientes	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Alto
	mg/dm ³				
Zinco	≤ 0,4	0,5 – 0,9	1,0 – 1,5	1,6 – 2,2	> 2,2
Manganês	≤ 2	3 – 5	6 – 8	9 – 12	> 12
Ferro	≤ 8	9 – 18	19 – 30	31 – 45	> 45
Cobre	≤ 0,3	0,4 – 0,7	0,8 – 1,2	1,3 – 1,8	> 1,8
Boro	≤ 0,15	0,16 – 0,35	0,36 – 0,60	0,61 – 0,90	> 0,90

Fonte: Alvarez Venegas et al. (1999).

Apesar de algumas regiões, como as do Cerrados, apresentarem altos teores de Mn trocável no solo (LOPES, 1984), a aplicação de altas doses de calcário, como demanda a cultura da alfafa, pode induzir a deficiência do nutriente por efeito de inibição, sendo, neste caso, do tipo não competitiva (MOREIRA et al., 2003). Neste tipo de inibição, é necessária a presença de um íon acompanhante para auxiliar a entrada do elemento na planta, sendo que, no caso da alfafa, este efeito pode ser mais representativo, devido à sua alta sensibilidade à deficiência de manganês (Fig. 10).

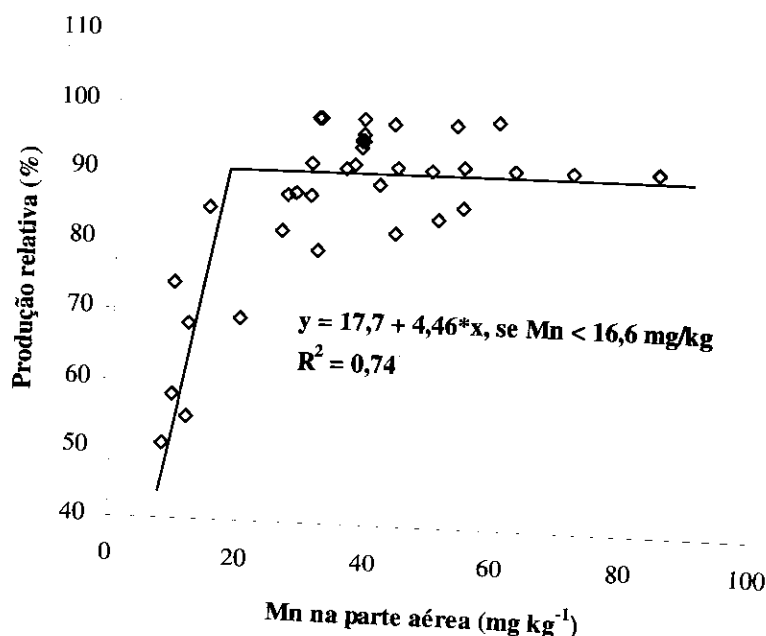


Fig. 10. Relação entre a produção relativa de matéria seca e as concentrações de Mn na parte aérea da alfafa.

Fonte: Coutinho et al. (2007).

As fontes de micronutrientes (Tabela 11) variam de modo considerável em função do estado físico, da reatividade química e da disponibilidade para as plantas. As mais comuns são os sais, quelados sintéticos, complexos orgânicos e "fritas" (produtos vítreos e moídos, denominados comercialmente de FTE[®]).

A necessidade de calcário em grandes quantidades, como exige a cultura da alfafa (item 3.1), ocasiona a elevação do pH e a diminuição da disponibilidade de micronutrientes, com exceção do Mo e Cl. Outros fatores que podem afetar a absorção são as relações interiônicas que podem diminuir ou aumentar a absorção por meio de processos de antagonismo, de inibição competitiva ou não e do sinergismo de alguns elementos, entre eles: P e Zn; Ca e Mn; Ca e Zn; P e Fe; Mg e Mn e N e B (MALAVOLTA, 2006).

Trabalhos realizados por Moreira et al. (1997b, 2000 e 2002b) em Latossolo Vermelho Escuro distrófico do Sul de Minas Gerais e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de São Paulo mostraram os efeitos do enxofre, calcário e fósforo sobre o teor e conteúdo de micronutrientes na alfafa. Os autores verificaram que as doses de enxofre aumentaram significativamente a absorção de Mn ($\hat{y} = 59,0 + 0,349x$, $R^2 = 0,84$), enquanto o B, Cu, Fe e Zn não apresentaram interação.

No experimento realizado com calcário, o aumento da dose do corretivo diminuiu, exceto o Cu, a absorção de B, Fe, Mn e Zn (MOREIRA et al., 2000). Para Kornelius e Ritchey (1992), em Latossolo Vermelho Escuro, fase Cerrado de Planaltina, DF, mesmo após dez anos da aplicação, o efeito residual do calcário inibiu o efeito do Zn sobre a produção da alfafa (Tabela 12). Segundo Moreira et al. (2002b), independentemente da fonte utilizada, as doses de fósforo diminuíram apenas a absorção de zinco, possivelmente pelo efeito de inibição não competitiva, descrita por Malavolta (2006), em que, sob condições de altas doses de P, tal fenômeno é mais evidenciado, existindo, neste caso, uma inibição fisiológica afetando a translocação do Zn absorvido pelas raízes para a parte aérea da planta. No caso dos teores de Fe e Mn, o aumento da relação P:Mg no solo pode minimizar o efeito de inibição (MOREIRA et al., 2006).

Tabela 11. Fonte e concentração dos micronutrientes em alguns fertilizantes mais usados.

Elemento	Fonte	Solubilidade em água	Concentração do elemento, em %
Boro	H ₃ BO ₃	Solúvel	17
	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	Solúvel	15
	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Solúvel	11
	Na ₂ B ₄ O ₇ .8H ₂ O	Levemente solúvel	10
	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	Insolúvel	10
Cobalto	CoCl ₂ .2H ₂ O	Solúvel	34
	CoO	Insolúvel	75
Cobre	CuSO ₄ .5H ₂ O	Solúvel	25
	CuO	Insolúvel	50 - 75
Ferro	FeSO ₄ .7H ₂ O	Solúvel	20
	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	Solúvel	20
	FeHEDTA	Solúvel	5 - 9
	FeHDDTA	Solúvel	6
Manganês	MnSO ₄ .4H ₂ O	Solúvel	24
	MnO	Insolúvel	41 - 68
	Oxi-sulfato de Mn	Variável	30 - 50
Molibdênio	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	Solúvel	39
	(NH ₄) ₂ MoO ₄	Solúvel	49
	MoO ₃	Insolúvel	66
Níquel	NiSO ₄ .6H ₂ O	Solúvel	22
	NiCl ₂ .H ₂ O	Solúvel	24
Zinco	ZnSO ₄ .H ₂ O	Solúvel	20
	Complexo ZnSO ₄ -NH ₃	Solúvel	10 - 15
	ZnO	Insolúvel	60 - 78
	Oxi-sulfato de Zn	Variável	18 - 50
	Zn-EDTA	Solúvel	6 - 14

Fonte: Adaptado de Mortvedt (1991).

Tabela 12. Produção média de matéria seca de seis cortes de alfafa (kg ha⁻¹), sob o efeito residual de calcário e zinco, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro de Planaltina, DF*.

Zn (kg/ha)	Doses de calcário (t/ha)			Produção média (kg/ha)
	7,5	15,0	22,5	
0	7499	9360	10028	8962 a
3	7568	9731	10244	9181 a
9	9073	10306	9529	9636 a
Média	8047 b	9799 a	9934 a	9260

*Significativo a 5 % pelo teste de Tukey.

Fonte: Kornelius e Kitchey (1992).

As doses de micronutrientes a serem recomendadas para os Estados de Minas Gerais, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, São Paulo e Paraná estão na Tabela 13. Exceto o Distrito Federal, que indica o parcelamento da adubação em duas partes iguais antes da semeadura e 30 a 60 dias após o plantio, nos outros estados, a adubação total deve ser feita por ocasião do plantio. Com relação ao Co, Mo e Ni, devido à menor quantidade aplicada, estes devem ser colocados no tratamento das sementes. Apesar de suas limitações, a formulação pré-estabelecida como as fritas (FTE[®]) pode ser uma opção na substituição dos sais (BARCELLOS, 1990; RASSINI, 1998).

Tabela 13. Recomendação de adubação com micronutrientes para os Estados de Minas Gerais, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, São Paulo e Paraná.

Nutrientes	Distrito Federal ⁽¹⁾	Minas Gerais ^(2 e 3)	Paraná ⁽⁴⁾ Santa Catarina e Rio Grande do Sul ⁽⁵⁾ São Paulo ^(6, 7 e 8)		
			(kg/ha)		
B	2,2	1,0 ⁽²⁾	2,2 - 2,8	2,2	1,0 - 1,5 ⁽⁷⁾
Co	-	0,1 ⁽³⁾	-	-	0,1 ⁽⁶⁾
Cu	-	2,5 ⁽²⁾	3,75	-	1 a 3 ⁽⁷⁾
Fe	-	-	-	-	-
Mn	-	1,0 ⁽³⁾	-	-	1,0 ⁽⁶⁾
Mo	0,39	0,49 ⁽²⁾	-	0,39	0,49 ⁽⁷⁾
Zn	4,6	2,3 ⁽²⁾	4,6 - 6,5	3,0 - 5,0	4,6 ⁽⁷⁾
Ni	-	-	-	-	0,1 ^(*)
Fritas - FTE	60 de BR12 [®] ou BR10 [®]	-	-	-	30 de BR12 ^{®(8)}

Fonte: ⁽¹⁾Barcellos (1990); ⁽²⁾Carvalho e Vilela (1994); ⁽³⁾Moreira et al. (2000); ⁽⁴⁾Keplin (1994); ⁽⁵⁾Tedesco et al. (2004); ⁽⁶⁾Moreira et al. (2002b); ⁽⁷⁾Werner et al. (1996); ⁽⁸⁾Rassini (1998); ^(*)Recomendação pessoal.

Por se tratar de uma leguminosa eficiente no processo de fixação biológica de N, fato que requer calagem constante, a adubação com micronutrientes deve ser repetida todos os anos, levando-se em consideração o teor destes nos resultados de análise de solo e folhas. O Mo e Co, por serem necessários em quantidades muito pequenas, podem ser fornecidos via fertilização foliar nos alfafais já estabelecidos.

Adubação orgânica

Na implantação de um alfafal, pode ser utilizada a adubação orgânica, pois esta prática beneficia diretamente as propriedades físicas e químicas do solo. A perda de amônia, em decorrência da mistura de esterco e corretivo (calcário), é irrelevante,

uma vez que o N deve ser oriundo da fixação simbiótica do nitrogênio (FBN) (RASSINI, 1998). Entretanto, deve-se avaliar muito bem o teor de N do solo e da matéria orgânica a ser usada. Se o N fornecido pelo solo e a mineralização da matéria orgânica forem muito altos, o estabelecimento do processo de FBN ficará prejudicado e o alfafal passará a depender da adubação com N, tornando a cultura antieconômica.

As fontes mais comumente utilizadas são: esterco de bovinos, de suíno e de aves e, com alguma restrição, a cama de frango e de galinha poedeira. Kiehl (1985), em revisão de literatura, mostrou que a eficiência da adubação orgânica, adubação mineral (NPK) + calcário ou a combinação desses tratamentos, que a aplicação única de cama de poedeira foi a menos eficiente no aumento da produção da alfafa, quando comparada com os outros tratamentos. Os maiores rendimentos resultaram da adubação mineral + calcário, conjuntamente com a cama de poedeiras (Tabela 14).

Tabela 14. Rendimento médio das culturas em função da aplicação de cama de poedeiras (CP), adubação mineral - NPK + calcário (AM) e da combinação de ambas*.

Tratamentos	Feijão	Milho	Alfafa	Tremoço	Milheto
	Grãos		Matéria seca		
	(kg/ha)				
Testemunha	360 b	2620 b	1420 c	890 b	5320 b
CP	1720 a	5450 a	8130 b	1770 a	13590 a
AM	1590 a	5410 a	10880 a	1170 ab	13110 a
CP/2 + AM/2	1810 a	5460 a	11400 a	1430 ab	14750 a
Média	1370	4735	7958	1315	11693

* Significativo a 5 % pelo teste de Tukey.

Fonte: Kiehl (1985).

Estado nutricional

Diagnose visual

Os nutrientes desempenham funções estruturais e metabólicas essenciais nas plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2005) e o seu nível de disponibilidade correlaciona-se diretamente com a produção de matéria seca. A redução da produtividade ocasionada por desordens nutricionais pode estar associada a sintomas característicos para cada nutriente. O crescimento e a produção poderão ser limitados antes mesmo do aparecimento dos sintomas, situação denominada de fome oculta (MALAVOLTA, 2006). Apesar da sintomatologia característica a cada desordem nutricional, a

diagnose visual deve ser apenas a primeira etapa do diagnóstico nutricional, a ser confirmado pela análise de solo e de tecidos.

A identificação dos sintomas que podem auxiliar no diagnóstico requer a análise do plantio e o levantamento de informações como, cultivar, estágio de desenvolvimento, disponibilidade de água, temperatura, intensidade e radiação solar durante o ciclo que interferem na absorção de nutrientes. Também é necessário observar a ocorrência de pragas e doenças que podem provocar sintomas semelhantes às desordens nutricionais. É interessante destacar se os sintomas acontecem em reboleira ou de forma generalizada no campo, tendo em vista que deficiência nutricional raramente aparece em algumas plantas, surgindo, normalmente, em áreas com alguma característica em comum (MOREIRA et al., 2007), como aquelas que receberam o mesmo manejo de fertilidade.

Para realizar o diagnóstico de deficiência ou toxicidade é importante, antes, observar os seguintes aspectos, de modo a não confundir as prováveis causas do sintoma visual:

- a) **Ocorrência de pragas e doenças** – Pragas e doenças podem provocar sintomas semelhantes aos de deficiência nutricional. Por exemplo: os ataques de cochonilhas podem ocasionar o secamento dos bordos das folhas semelhante à deficiência de cálcio;
- b) **Distribuição dos sintomas de anormalidade dentro das áreas (reboleiras)** – Quando se trata de sintomas de deficiência ou toxicidade, estes se distribuem em talhões ou glebas, mas raramente em reboleiras, salvo o caso de isso ter ocorrido em locais onde foi depositado calcário ou outros fertilizantes no campo;
- c) **Simetria dos sintomas** – Os sintomas de deficiência nutricional ocorrem de maneira simétrica, ou seja, nas folhas de ambos os lados dos ramos. Caso contrário, as anomalias observadas podem ser devidas a outros fatores, como por exemplo, ataque de pragas e/ou doenças;
- d) **Gradiente dos sintomas** – Os sintomas de deficiência nutricional apresentam gradientes em função dos diferentes níveis de mobilidade dos elementos na planta. Para os nutrientes de alta translocação ou móveis (N, P, K e Mg), os sintomas surgem primeiramente nas folhas mais velhas; para os nutrientes de baixa translocação ou pouco móveis (S, Cu, Fe, Mn e Zn), os sintomas são mais intensos nas folhas mais novas e extremidade de crescimento; e para os nutrientes considerados imóveis (Ca e B), os sintomas ocorrem nas folhas novas, nas gemas apicais e nas extremidades de crescimento;

e) **Deriva de herbicida** – A deriva de herbicida pode provocar anomalias nas plantas, cujos sintomas podem ser semelhantes às deficiências (B, Fe e Zn) ou de toxidez (B ou K).

Os sintomas e chave de identificação de deficiências dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) descritos por Graham et al. (1979), Eskew et al. (1984), Undersander et al. (1995), Orloff et al. (1997) e Malavolta (2006) estão listados na Tabela 15. Cabe esclarecer, que as fotografias são indicativos de deficiências nutricionais, ou seja, uma fotografia não pode oferecer todo diagnóstico nutricional. É importante ter em consideração o diagnóstico químico dos sintomas antes de concluir que um único nutriente é deficiente. Análises do solo e tecidos são os mais precisos meios para determinar os níveis nutricionais na planta.

Tabela 15. Chave de identificação dos sintomas de deficiência na alfafa.

A. Sintomas aparecem preferencialmente nas folhas mais velhas

A.1. Clorose

A.1.1. Tonalidade verde-claro para amarelo; redução do crescimentoN



Foto: Orloff et al. (1997).

A.1.2. Pontos brancos no limbo foliar com folhas pequenas; em caso avançado pode amarelar toda folha e causar senescência K



Foto: Adônis Moreira.

A.1.3. Parte internerval clorótica nas folhas velhas; margens das nervuras inicialmente permanecem verdes e, em casos extremos, os bordos secam..... Mg



Foto: Undersander et al. (1994).

A.2. Coloração verde-azulada

A.2.1. Coloração verde-azulada, espessa, atrofiada e crescimento ereto. Folíolos dobram e o caule pode ficar vermelho ou púrpúreoP



Foto: Orloff et al. (1997).

B. Os sintomas que surgem inicialmente nos órgãos mais novos

B.1. Clorose nas folhas novas

B.1.1. Parte internerval das folhas novas com reticulado fino; posterior branqueamento das partes mais novas estendendo-se para todas as folhas Fe

B.1.2. Parte internerval das folhas novas com reticulado grosso; sintoma semelhante ao do Mg.....Mn



Foto: Adônis Moreira.

B.1.3. Coloração verde-clara, similar à deficiência de N; caule fino e com crescimento fraco..... S

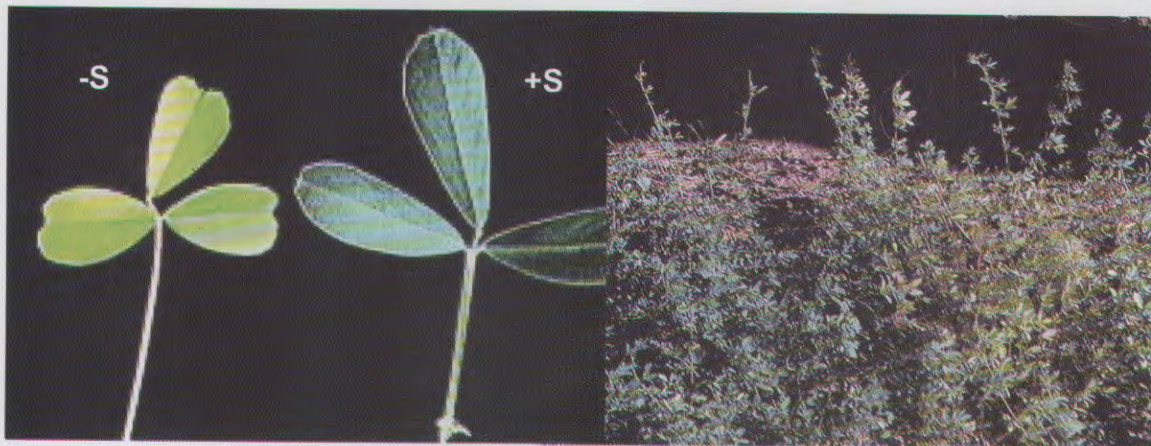


Foto: Orloff et al. (1997).

B.2. Deformação das folhas novas

B.2.1. Tamanho das folhas reduzido, internódios curtos e ascendentes; encurvamento das folhas novasZn



Foto: Adônis Moreira.

B.2.2. Curvatura severa do pecíolo e pontos acidentados nas folhas medianas..... Cu



Foto: Adônis Moreira.

B.2.3. Folhas novas com tonalidade amarelo-pálido e raquíticas, semelhante à deficiência de N..... Mo



Foto: Orloff et al. (1997).

B.2.4. Amarelecimento das folhas e posterior arroxamento; encurtamento da haste principal e pouco crescimento de brotos. Às vezes, o sintoma se confunde com ataque de inseto sugador – “Cigarrinha-verde” ou *Leafhopper* da batata” [*Empoasca fabae* (Harris)]..... B



Fotos: Adônis Moreira; Orloff et al. (1997).

B.2.5. Mal formação das folhas novas com necrose em todo limbo, surgimento de pontos escuros e encurvamento do limbo foliar e problema no florescimento.....Ni

B.2.6. Apesar de ser imóvel no floema e por atuar na FBN, os sintomas de carência se assemelham ao do N.....Co

B.2.7. O crescimento do sistema radicular é prejudicado. As folhas encurvam para cima, ocorre colapso do pecíolo das folhas novas recém-maduras.....Ca



Fonte: Graham et al. (1979).

Diagnose foliar

A diagnose foliar tem as seguintes aplicações: avaliar o estado nutricional, identificar deficiências e distúrbios nutricionais, avaliar a necessidade de adubos e ajustar os programas de adubação. Com base na fisiologia do crescimento da alfafa e na qualidade da forragem durante o ciclo vegetativo, a melhor combinação entre produção e o teor de proteína é obtida quando cerca de 10 % das plantas estão florescidas (Fig. 11) (NUERNBERG, 1986). Nesse estágio, devem-se coletar ao acaso amostras em vinte pontos, fazendo-se, posteriormente, uma amostra composta. As amostras devem ser secas e guardadas em sacos de papel para a realização das análises.

Na Tabela 16, são apresentadas as faixas de concentrações dos macronutrientes e micronutrientes obtidas em diferentes condições edafoclimáticas para interpretação da análise foliar. Porém, para chegar ao nível de interpretação e recomendação de fertilizantes, são necessários estudos que incluam o método analítico até o estabelecimento de experimentos para obtenção de níveis críticos. Esses estudos podem ser apresentados em uma seqüência dividida em duas partes (Fig. 12).

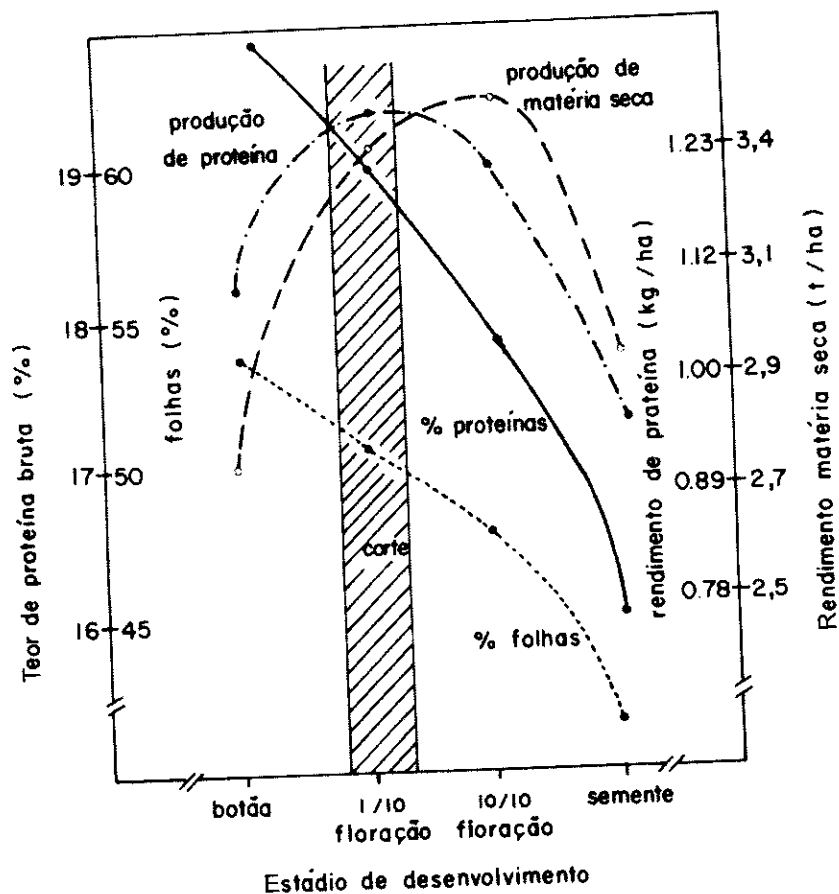


Fig. 11. Efeito do estágio de maturidade da alfafa no rendimento de matéria seca, porcentagem de folhas e teor de proteína bruta.

Fonte: Smith (1975b) e Nuernberg (1986).

Em decorrência do uso de cultivares de diferentes origens e, principalmente, das condições edafoclimáticas distintas de cada região, obtidas para se definir as faixas de interpretação, há grande variabilidade no diagnóstico do estado nutricional da alfafa (Tabela 16).

Devido a um grande número de publicações sobre o assunto, as funções dos nutrientes nas plantas não serão descritas no trabalho; para detalhes sobre os elementos, vide Rhykerd e Overdahl (1972), Honda e Honda (1990), Marschner (1995), Fageria et al. (2005) e Malavolta (2006).

Por ser uma cultura exigente em fertilidade do solo, a alfafa demanda grandes quantidades de nutrientes para se desenvolver, exportando para cada 10 toneladas de matéria seca, em kg/ha: 560,5 de N; 56,1 de P; 560,5 de K; 392,4 kg de Mg e 56,1 de S (RHYKERD e OVERDAHL, 1972).

Tabela 16. Interpretação dos dados de análise foliar da alfafa.

Nutrientes	Rhykerd e Overdahl (1972) ⁽¹⁾ ; Plancquaert (1977) ⁽²⁾	Planck (1988) ⁽³⁾ ; Undersander et al. (1994) ⁽⁴⁾	Moreira et al. (1997a, 1997b, 2000, 2001 e 2002b) ⁽⁵⁾	Culot (1986) ⁽⁶⁾	Jones e Quagliato (1970) ⁽⁷⁾ ; Kornelius e Ritchey (1992) ⁽⁸⁾ ; Rando e Silveira (1995) ⁽⁹⁾
N	30 ⁽¹⁾	30 - 50 ⁽³⁾	26 - 35	46 - 70	39 - 41 ⁽⁸⁾
P	2,6 ⁽²⁾	2,5 - 7,0 ⁽⁴⁾	2,5 - 3,5	2,6 - 7,0	-
K	25 ⁽²⁾	20 - 38 ⁽³⁾	20 - 22	20 - 40	13,3 - 13,5 ⁽⁹⁾
Ca	21 ⁽²⁾	5 - 30 ⁽³⁾	14 - 20	5 - 30	14 - 15 ⁽⁸⁾
Mg	2,5 ⁽²⁾	2,5 - 10 ⁽³⁾	2,0 - 6,0	2,6 - 10	2 - 10 ⁽⁸⁾
S	4,0 ⁽²⁾	2,5 - 5 ⁽⁴⁾	1,2 - 1,4	2,6 - 5,0	2,6 - 3,8 ⁽⁹⁾
----- (mg/kg) -----					
B	20 - 62 ⁽¹⁾	20 - 80 ⁽³⁾	62 - 67	29 - 80	79 ⁽⁷⁾
Cu	11 ⁽¹⁾	5 - 30 ⁽³⁾	11 - 17	10 - 30	12 ⁽⁷⁾
Fe	30 - 250 ⁽¹⁾	30 - 250 ⁽⁴⁾	124 - 220	31 - 300	606 ⁽⁷⁾
Mn	30 - 100 ⁽¹⁾	25 - 200 ⁽⁴⁾	60 - 82	26 - 250	32 ⁽⁷⁾
Zn	21 - 70 ⁽¹⁾	20 - 70 ⁽⁴⁾	42 - 83	21 - 70	35 ⁽⁷⁾
Mo	0,5 ⁽¹⁾	1 - 5 ⁽³⁾	-	1,1 - 4,0	-

Fonte: ⁽¹⁾ Rhykerd e Overdahl (1972), EUA - cultivares americanas; ⁽²⁾ Plancquaert (1977), França - cultivares européias; ⁽³⁾ Planck (1988), EUA; ⁽⁴⁾ Undersander et al. (1994), EUA - cultivares americanas; ⁽⁵⁾ Moreira et al. (1997a, 1997b, 2000, 2001 e 2002b), SP e MG - cultivares Crioula e Flórida 77; ⁽⁶⁾ Culot (1986), Argentina; ⁽⁷⁾ Jones e Quagliato (1970), SP; ⁽⁸⁾ Kornelius e Ritchey (1992), DF e ⁽⁹⁾ Rando e Silveira (1995), PR - cultivar Crioula.

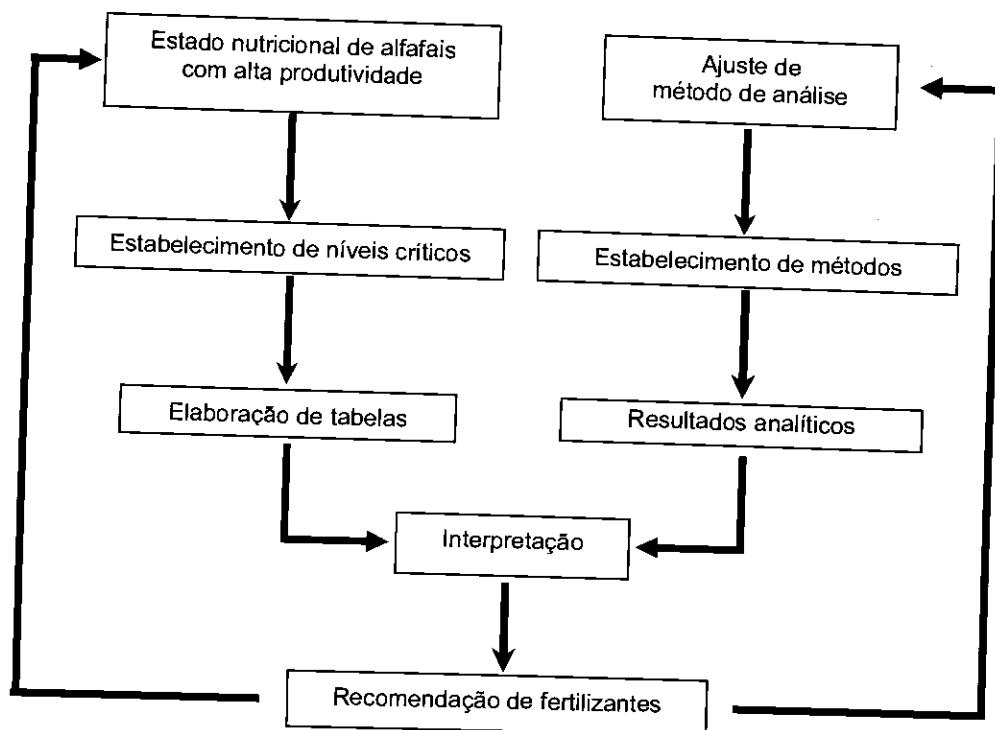


Fig. 12. Sistema de recomendação de fertilizantes com base na análise foliar.

Fonte: adaptado de Sobral e Santos (1987).

Considerações finais

Para produzir altos rendimentos de forragem, a alfafa exige solos com quantidades adequadas dos macro e micronutrientes. As recomendações regionalizadas para definição de quando, quanto e como utilizar os adubos e corretivos da fertilidade do solo, bem como de interpretar o nível crítico dos nutrientes nas folhas de alfafa, devem se basear em critérios pré-estabelecidos para cada região, com solos e soluções extratoras de nutrientes distintas.

O uso adequado dos fertilizantes e corretivos e o monitoramento constante do estado nutricional, aliado ao manejo fitossanitário adequado pode aumentar significativamente a longevidade do alfafal.

Buscando melhorar as recomendações desses adubos e corretivos, é necessário priorizar estudos sobre os seguintes temas: definição da saturação por bases (V %) adequada para a cultura; utilização do gesso agrícola para diminuir a acidez do subsolo provocada pela acidez potencial e aumentar a área de exploração das raízes; seleção de estirpes de *Shinorhizobium* tolerantes a solos ácidos e com alto teor de Al trocável; ensaios sobre parcelamento e fontes alternativas de potássio; ciclagem de nutrientes; dinâmica da matéria orgânica correlacionada com a produção; teste de calibração para os micronutrientes; padronização ou regionalização das faixas de interpretação dos teores foliares, de acordo com a cultivar utilizada; e calibração de extratores de solo, de acordo com a metodologia utilizada na região.

Referências

- ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ANCHÃO, P. P. **Interação microbiologia-fungicida no tratamento de sementes de alfafa visando redução na taxa de semeadura**. 1995. 84 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.
- BARCELLOS, J. M. **A cultura da alfafa**. Planaltina: CPAC, 1990. 12 p. (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Comunicado Técnico, 56.)
- 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**, Madison, v. 45, n. 1, 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.
- BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A. Produção de matéria seca, teores no solo e extração de potássio pela alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. Conquistas e desafios da Ciência do Solo brasileira. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.
- BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. de A.; PRIMAVESI, O. Adubação potássica em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: FERTIBIO, 5., 2006, Bonito. **Anais...** Dourados: Embrapa Dourados: SBCS, 2006. p. 1-4.
- CARVALHO, J. G.; ASSIS, R. P.; MOREIRA, A. Necessidade de calagem para cultura da alfafa. In: WORKSHOP SOBRE POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1994, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: CNPGL, 1994. p. 117-125.
- CARVALHO, L. A.; VILELA, D. **Cultura da alfafa: estabelecimento, fenação, custo de produção e construção de um secador estático**. Juiz de Fora: CNPGL, 1994. 44 p.
- CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v. 192, p. 37-48, 1997
- COLLINS, M; LANG, D. J; KELLING, K. A. Effects of phosphorus, potassium, and sulfur on alfalfa nitrogen-fixation under field conditions. **Agronomy Journal**, v. 78, n. 6, p. 959-963, 1986.
- COUTINHO, E. L. M.; BENTO, F. B.; SILVA, A. R.; COUTINHO NETO, A. M.; ORIOLI JUNIOR, V. Resposta da alfafa à adubação com manganês. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, Unesp, 2007. p.1-4. 1 CD ROM.
- CULOT, J. P. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. In: BARIGGI, C.; ITRIA, C. D.; MARBLE, V. L.; BRUN, J. M. (Eds.) **Investigación tecnología y producción de alfalfa**. Buenos Aires: INTA, 1986. p. 81-117.
- DÍAZ, M. Z.; GAMBAUDO, S. Fertilización y encalado en alfalfa. In: BASIGALUP, D. H. (Ed.). **El cultivo de la alfalfa en la Argentina**. Buenos Aires: INTA, 2007. p. 227-246.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, CNPS, 1997. 212 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
- ESKEW, D. L.; WECH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 76, p. 691-693, 1984.
- EVANGELISTA, A. R.; REIS, S. T. **A cultura da alfafa**. Lavras: UFLA, FAEPE, 1995. 10 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: Harworth Press, 2005. 345 p.

FONTES, P. C. R.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; VILELA, D. Resposta da cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.) à adubação nitrogenada. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 21, n. 6, p. 996-997, 1992.

GROUPEMENT NATIONAL INTERPROFESSIONNEL DES SEMENCES ET PLANTS – GNIS. **La luzerne**. Paris: GNIS, 1991. 12 p. (Le Groupement National Interprofessionnel des Semences. Document, 91).

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985. p. 129-163.

GOMES, F. T.; BORGES, A. C.; NEVES, J. C.; FONTES, P. C. R. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1779-1786, 2002.

GRAHAM, J. H.; FROSHEISER, F. I.; STUTEVILLE, D. L.; ERWIN, D. C. **A compendium of alfalfa diseases**. St Paul: The American Phytopathological Society, 1979. 65 p.

GREWAL, H. S.; WILLIAMS, R. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 781-795, 2002.

GRIFFITH, W. K. Satisfying the nutritional requirements of established legumes. In: MAYS, D. A. (Ed.). **Forage fertilization**. Madison: Soil Science Society of America, 1974. p. 147-169.

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

HEICHEL, G. H.; VANCE, C. P. Nitrate-N and *Rhizobium* strain roles in alfalfa seedling nodulation and growth. **Crop Science**, Madison, v. 19, n. 2, p. 512-518, 1979.

HIJANO, E. H.; NAVARRO, A. **La alfalfa en la Argentina**. San Juan: INTA, 1995, 281 p.

HONDA, C. S.; HONDA, A. M. **Cultura da alfafa**. Cambará: IARA Artes Gráficas, 1990. 245 p.

HUNTER, A. S. Yield and composition of alfalfa as affected by variation in the calcium-magnesium ratio in the soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 67, n. 1, p. 53-62, 1948.

JONES, M. B.; QUAGLIATO, J. L. Resposta de quatro leguminosas tropicais e da alfafa a vários níveis de enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 359-363, 1970.

KEPLIN, L. A. S. Metodologia de estabelecimento e avaliação de alfafa sob condições de corte. In: WORKSHOP SOBRE POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1994, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: CNPGL, 1994. p. 29-36.

- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.
- KOLLING, J.; SCHOLLES, D.; SELBACH, P. A. Peletização e inoculação de alfafa em diferentes doses de calcário. 2. Experimento a campo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 24, n. 2, p. 287-295, 1988.
- KORNELIUS, E.; RITCHEY, K. D. Comportamento da alfafa em diferentes níveis de acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 241-246, 1992.
- 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.
- LANYON, L. E.; SMITH, F. W. Potassium nutrition of alfalfa and other forage legumes: temperate and tropical. In: MUNSON, R. D. (Ed.) **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 861-893.
- LIMA, R. C. **A cultura da alfafa**. Rio de Janeiro: SAI, 1959. 38 p.
- LLOVERAS, J.; FERRAN, J.; BOIXADERA, J.; BONET, J. Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 1, p. 139-143, 2001.
- LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Potafos, 1984. 162 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E.; COURY, T.; GALLI, F.; SILVA, J. G. Efeitos do enxofre e do boro e da inoculação em alfafa (*Medicago sativa* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 10, p. 48-65, 1953.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 888 p.
- MOREIRA, A. **Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1997.
- MOREIRA, A.; BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. de P.; OLIVEIRA, P. P. A. **Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 40 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 67).
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 533-538, 1997a.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; MORAES, L. A. C.; SALVADOR, J. O. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2051-2006, 2000.

MOREIRA, A.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, J. G. Efeito de fontes e doses de enxofre nos teores e conteúdo de micronutrientes na alfafa e no trevo branco. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 54, n. 2, p. 55-60, 1997b.

MOREIRA, A.; HEINRICHS, R.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, R. P. Efeito da relação fósforo: magnésio no teor e conteúdo dos micronutrientes na alfafa. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 63, p. 55-61, 2006.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1519-1527, 2001.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R. T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 95-101, 2003.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e na centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, 2002a.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C.; HEINRICHS, R. Fontes e doses de fósforo na concentração de nitrogênio e micronutrientes na alfafa e na centrosema. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, n. 2, p. 157-165, 2002b.

MOREIRA, A.; SALVADOR, J. O. *Medicago sativa* L. **Notasalq**, v. 23, n. 5, p. 8, 1998.

MORTVEDT, J. J. Micronutrients fertilizer technology. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELSH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548.

NEW MEXICO STATE UNIVERSITY – NMSU. **Alfafa: *Medicago sativa* L.** 1998. Disponível em: <<http://darwin.nmsu.edu/~molbio/plant/alfalfa.html>>. Acesso em: 6 ago. 2008.

NUERNBERG, N. J. Técnicas de produção de alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGEM, 1986, Piracicaba. 1986. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1986. p. 145-160.

NUERNBERG, N. J.; MILAN, P. A.; SILVEIRA, C. A. M. **Manual de produção de alfafa**. Florianópolis: Empasc, 1990. 102 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; TSAI, S. M. Associação simbiótica com a microbiota do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM: ALFAFA, 16., 1999, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1999. p. 117-132.

OLIVEIRA, W. S.; OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; TSAI, S. M. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e produtividade da alfafa (*Medicago sativa* L.). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1275-1286, 2003.

- ORLOFF, S. B.; CARLSON, H. L.; TENDER, L. R. **Intermountain alfalfa management**. Oakland: University of California, 1997. 142 p.
- PLANCK, C.O. Alfafa. In: PLANCK, C. O. (Ed.). **Plant analysis handbook for Georgia**. Athens: University of Georgia, 1988. p. 18-19.
- PLANCQUAERT, P. La culture de la luzerne. **Perspectives Agrícoles**, Paris, n. 3, p. 46-55, 1977.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 284 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico Campinas, 1997. 285 p. (Instituto Agronômico Campinas. Boletim Técnico, 100).
- RANDO, E. M. Adubação da alfafa (*Medicago sativa* L.) com potássio e enxofre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: SBCS, UFG. 1993. p. 67-68.
- RANDO, E. M. Níveis críticos de potássio na alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBCS, UFV. 1995. p. 1044-1045.
- 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**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 235-242, 1995.
- RANDO, E. M.; TOMÉ JUNIOR, J. B.; FERRARI NETO, J.; BRANDÃO, R. P. Fornecimento de nitrogênio para a cultura da alfafa. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: SBCS, Embrapa, 1994. p. 103-104.
- RASSINI, J. B. **Alfafa (*Medicago sativa* L.): estabelecimento e cultivo no Estado de São Paulo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1998. 27 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular técnica, 15).
- RASSINI, J. B.; FREITAS, A. R. Desenvolvimento da alfafa (*Medicago sativa* L.) sob diferentes doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 487-490, 1998.
- REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004. p. 227-244.
- RHYKERD, C. L.; OVERDAHL, C. J. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, C. H. (Ed.). **Alfalfa Science and Technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1972. v. 2, p. 437-465.
- SANTOS, A. R.; MATTOS, W. T.; ALMEIDA, A. A. S.; MONTEIRO, F. A.; CORREA, B. D.; GUPTA, U. C. Boron nutrition and yield cultivar Crioula in relation to boron supply. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 496-500, 2004.

- SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 81-390, 2001.
- SMITH, D. Effects of potassium topdressing a low fertility silt loam soil on alfalfa herbage yields and composition and on soil K. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, n. 1, p. 60-64, 1975a.
- SMITH, D. Alfafa. In: SMITH, D. (Ed.). **Forage management in the North**. Iowa: Kendall-Hunt, 1975. p. 89-99b.
- SOBRAL, L. F.; SANTOS, Z. G. **Sistemas de recomendações de fertilizantes para o coqueiral (*Cocos nucifera* L.) com base na análise foliar**. Aracaju: Embrapa-CNPCo, 1987. 23 p.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; WIETHÖLTER, S. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: CQFS-RS/SC, 2004. 394 p.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.
- TSAI, S. M.; SILVA, P. M.; CABEZAS, W.; BONETTI, R. Variability in nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped with maize. **Plant and Soil**, The Hague, Holanda, v. 152, n.1, p. 93-101, 1993.
- UNDERSANDER, D.; MARTIN, N.; COSGROVE, D.; KELLING, K.; SCHMITT, M.; WEDBERG, J.; BECKER, R.; GRAU, C.; DOLL, J.; RICE, M. E. **Alfalfa management guide**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. 51 p.
- VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p. 169-183.
- VOUGH, L.; DECKER, M. An alfalfa management program and grain yields during 14 years of potassium fertilization of corn for optimum yields and quality. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 76, p. 24-26, 1992.
- WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O.; QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p. 245-258. (Instituto Agronômico de Campinas. Boletim 100).
- WOLFFENBÜTTEL, R.; TEDESCO, M. J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com os parâmetros do solo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 357-376, 1981.

