

Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos



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

Documentos 67

Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos

Adônis Moreira
Alberto Carlos de Campos Bernardi
Joaquim Bartolomeu Rassini
Reinaldo de Paula Ferreira
Patrícia Perondi Anção de Oliveira

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pecuária Sudeste

Rod. Washington Luiz, km 234
Caixa Postal 339
13560-970 São Carlos, SP
Fone:(16) 3361-5611
Fax: (16) 3361-5754
Home page: www.cppse.embrapa.br
Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Alberto C. de Campos Bernardi
Secretário-Executivo: Edison Beno Pott
Membros: Carlos Eduardo Silva Santos, Maria Cristina Campanelli Brito,
Odo Primavesi, Sônia Borges de Alencar

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

1ª edição

1ª impressão (2007): 500 exemplares

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**

Adônis Moreira

Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos
[Recurso eletrônico] / Adônis Moreira [et al.]. — São Carlos: Embrapa
Pecuária Sudeste, 2007.

Modo de acesso: <[http://www.cppse.embrapa.br/servicos/publicacaogratis/
documentos/Documentos67.pdf/view](http://www.cppse.embrapa.br/servicos/publicacaogratis/documentos/Documentos67.pdf/view)>

Título da página na Web: (acesso em 30 de maio de 2007).
40 p. ; 29,5 cm.— (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 67).

ISSN: 1980-6841

1. Alfafa - Fertilidade do Solo - Estado nutricional. I. Moreira, A. II.
Bernardi, A.C. de C. III. Rassini, J.B. IV. Ferreira, R. de P. V. Oliveira, P.A.P.
VI. Título. VII. Série.

CDD: 633.31

Autores

Adônis Moreira

Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, C.P. 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP.
Endereço eletrônico: <adonis@cppse.embrapa.br>

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, C.P. 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP.
Endereço eletrônico: <alberto@cppse.embrapa.br>

Joaquim Bartolomeu Rassini

Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, C.P. 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP.
Endereço eletrônico: <rassini@cppse.embrapa.br>

Reinaldo de Paula Ferreira

Eng. Agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, C.P. 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP.
Endereço eletrônico: <reinaldo@cppse.embrapa.br>

Patrícia Perondi Anção de Oliveira

Enga. Agra., Dra., Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste,
Rod. Washington Luiz, km 234, C.P. 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP.
Endereço eletrônico: <ppaolive@cppse.embrapa.br>

Sumário

1. Introdução	7
2. Solo	8
3. Escolha da área	10
4. Fertilizantes e corretivos	10
4.1. <i>Calagem</i>	11
4.2. <i>Adubação nitrogenada</i>	14
4.3. <i>Adubação fosfatada</i>	16
4.4. <i>Adubação potássica</i>	18
4.5. <i>Adubação sulfatada</i>	23
4.6. <i>Adubação com micronutrientes</i>	24
4.7. <i>Adubação orgânica</i>	26
5. Estado nutricional	29
5.1. <i>Diagnose foliar</i>	29
5.2. <i>Diagnose visual</i>	31
6. Considerações finais	34
7. Literatura citada	35

Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos

Adônis Moreira

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Joaquim Bartolomeu Rassini

Reinaldo de Paula Ferreira

Patrícia Perondi Anção de Oliveira

1. Introdução

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma planta forrageira perene, originária do sudoeste da Ásia, de onde se difundiu para Europa e para as Américas. No Brasil, a sua introdução ocorreu no Rio Grande do Sul, através do Uruguai e da Argentina. Há também evidências de que imigrantes italianos e alemães tenham trazido sementes diretamente da Europa para o Brasil (Figura 1), cultivando-as nos vales de rios e regiões coloniais, nos quais a fertilidade natural do solo permitiu sua expansão (Nuernberg, 1986).

O interesse pelo cultivo da alfafa está relacionado, principalmente, à sua qualidade nutritiva excepcional. Na Roma antiga, a conheciam como “eximia est herba medica” (Beristain, 1932). Hoje, é chamada de “rainha das forrageiras” (Lima, 1959; Del Pozo, 1983; Nuernberg, 1986; Hijano & Navarro, 1995; Rassini, 1998). Rica em proteínas, em cálcio, em fósforo e em vitaminas A e E (Tabela 1), com alta palatabilidade, fazem com que os animais aumentem seu consumo e, conseqüentemente, a produção de carne ou de leite. A versatilidade de sua utilização – em pastejo, como feno, como silagem ou em forma de pellets – possibilita ao produtor ajustar a produção de acordo com o tipo de animal e as condições climáticas dominantes (Nuernberg et al., 1990).

Em razão dessas características, a alfafa pode fazer parte da composição alimentar na ração de coelhos, de aves, de ruminantes, de eqüinos e de muares. Também é utilizada na alimentação humana, na forma de bife, de brotos, de maionese e de salsicha, e na indústria de cosméticos, especialmente na fabricação de xampu. Outra de suas virtudes é a presença de grandes quantidades da proteína rubisco (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase), da qual apresenta de 80% a 85% de pureza quando extraída (Moreira & Salvador, 1998).

O objetivo deste documento é o de mostrar as lacunas existentes, os avanços já alcançados e as pesquisas necessárias nas áreas de fertilidade do solo, de nutrição mineral e de adubação, para que a alfafa seja efetivamente utilizada na nutrição animal como fonte protéica e de volumoso nas condições edafoclimáticas dos trópicos.

Tabela 1. Composição química e valores nutritivos da matéria seca da parte aérea da alfafa.

Componentes	Forragem com 10% de floração	
	Fresca	Feno seco ao sol
Cinzas (%)	11,50	10,20
Fibra bruta (%)	28,00	27,90
Gordura bruta (%)	2,60	2,80
Proteína bruta (%)	22,80	19,80
Nutrientes digestíveis totais (%)	60,60	60,10
Fibra em detergente neutro (%)	–	40 – 46
Fibra em detergente ácido (%)	–	31 – 35
Fósforo (g kg ⁻¹)	2,60	3,00
Cálcio (g kg ⁻¹)	16,90	17,90
Potássio (g kg ⁻¹)	–	22,50
Manganês (mg kg ⁻¹)	38,30	53,00
Zinco (mg kg ⁻¹)	31,40	38,60
Vitamina A (UI g ⁻¹)	–	123,00
Vitamina E (mg kg ⁻¹)	–	120,00
Vitamina C (mg kg ⁻¹)	–	1,60

Fonte: Adaptado de Nuernberg et al. (1990); Nussio & Manzano (1999).

2. Solo

A Tabela 2 resume os resultados compilados de levantamentos das características químicas de alguns solos das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, onde se produz alfafa no Brasil. Independentemente da localização e do clima, os resultados permitem inferir que, exceto em algumas microrregiões, a fertilidade do solo é a principal limitação para o plantio. Em razão do volume do sistema radicular, em que há grande quantidade de raízes pivotantes (Figura 2), se faz necessário corrigir a acidez ao longo do perfil para o cultivo da alfafa sob tais condições edáficas, buscando-se alcançar, na camada arável, os valores de pH entre 6,7 e 6,9, para obtenção do máximo potencial de produção estimado (Figura 3).



Figura 1. Expansão da alfafa no mundo.

Fonte: Adaptado de Del Pozo (1983), Nuemberg.

Tabela 2. Valores médios de algumas propriedades químicas do solo das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, na profundidade de 0 - 20 cm.

Estado	pH	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----	
		P	K	Ca	Mg	Al
DF – LVA ⁽¹⁾	4,6	0,8	18	0,1	6,0	1,1
GO – LVA ⁽¹⁾	5,2	1,0	28	0,1	0,1	0,5
GO – LVA ⁽¹⁾	4,9	1,0	24	0,1	0,1	1,5
MG – LVA ⁽¹⁾	5,3	4,5	38	1,7	0,9	2,2
MG – RL ⁽¹⁾	5,3	19,1	46	0,9	0,5	2,4
MG – LV ⁽¹⁾	5,0	10,0	82	2,0	0,8	1,0
MG – RQ ⁽¹⁾	4,5	1,9	75	1,2	0,9	2,2
MG – PVA ⁽¹⁾	6,2	5,0	35	3,0	0,7	0,5
PR – LR ⁽¹⁾	5,6	19,3	40	8,7	3,0	0,0
PR – LVA ⁽¹⁾	3,9	1,1	86	1,9	1,1	1,2
SP – LV ⁽²⁾	4,2	3,0	255	1,3	0,6	1,1
SP – LA ⁽²⁾	5,7	8,0	71	2,0	7,0	7,0
SP – PVA ⁽²⁾	4,4	20,0	70	1,4	0,6	2,0
SP – PVe ⁽²⁾	5,0	33,0	145	2,8	2,6	0,1
SP – RQ ⁽²⁾	5,2	4,0	27	0,6	0,2	0,7
RS – ES ⁽¹⁾	5,0	3,6	135	–	–	0,2

Abreviação das nomenclaturas dos solos: Embrapa (1999).

Metodologias de análise: ⁽¹⁾ Embrapa (1999); ⁽²⁾ van Raij et al. (2001).

3. Escolha da área

O alfafal deve ser cultivado em solos profundos e bem drenados; não se deve utilizar áreas recém-desbravadas, com impedimentos físicos, e terrenos encharcados ou com lençol freático próximo à superfície. A alfafa não tolera excesso de umidade, que impede o desenvolvimento das bactérias fixadoras de N (*Sinorhizobium meliloti*) e que propicia o aparecimento de doenças radiculares, com posterior morte da coroa (Anchão, 1995). A planta necessita de 700 a 800 kg de água para produção de um quilograma de matéria seca (Nuernberg, 1986; Evangelista & Reis, 1995).



Figura 2. Sistema radicular da alfafa, com a presença de grande quantidade de raízes pivotantes.

Fonte: GNIS (1991).

4. Fertilizantes e corretivos

A utilização de fertilizantes e de corretivos deve basear-se nos resultados obtidos na análise de solo e de planta, com aplicação dos conhecimentos obtidos nos estudos de correlação entre as quantidades extraídas do solo pelas plantas e o teor foliar (Fontes, 1994). As doses dos insumos são baseadas na quantidade do elemento absorvido pelas plantas, porém, 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, podem influenciar a eficiência de resposta da alfafa à aplicação de fertilizantes (Plancquaert, 1977; Nuernberg, 1986; Hijano & Navarro, 1995).

A alfafa é provavelmente a cultura que remove as maiores quantidades de Ca e de Mg (Tabela 3) 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 causado pelo complexo da acidez do solo é que a bactéria simbiótica *Sinorhizobium meliloti*, específica para a cultura, tem a eficiência na fixação de nitrogênio prejudicada em pH abaixo de 6,8 (Honda & Honda, 1990) e pela relação Ca e Mg do solo, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 3. Quantidades de Ca e Mg removidas do solo por algumas culturas.

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

Fonte: Honda & Honda (1990).

Para aumentar a longevidade do alfafal, é necessário obter maior eficiência do sistema radicular na absorção de água e de nutrientes, por meio da realização de algumas práticas de manejo, tais como: utilização de calcário com poder relativo de neutralização total (PRNT) maior do que 80%, incorporação do calcário tão profundamente quanto possível antes do estabelecimento da cultura, uso de gesso agrícola, análises anuais de solo e do tecido vegetal para efeito de acompanhamento do estado nutricional das plantas, e controle de pragas, de doenças e uso adequado da irrigação.

4.1. 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, 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: elimina ou diminui significativamente a acidez do solo; reduz a toxicidade de alumínio e de

mangânês; aumenta a disponibilidade de nutrientes; favorece a mineralização da matéria orgânica (fonte de N, P, S, B e de outros elementos); aumenta a eficiência da fixação simbiótica do N (Tabela 5); fornece Ca e Mg; melhora a eficiência de uso dos adubos potássicos e, principalmente, dos fosfatados (Havlin et al., 1999); e melhora a atividade microbiana do solo.

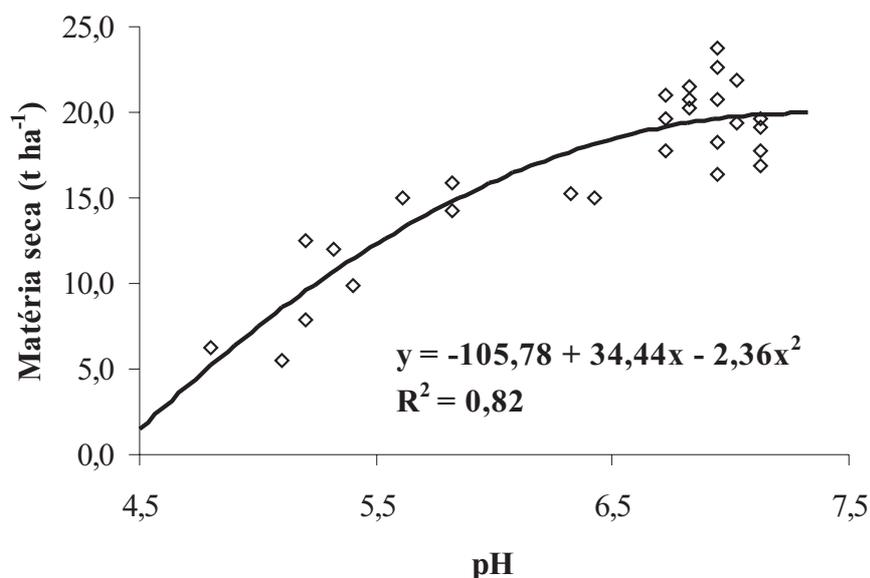


Figura 3. Efeito do pH do solo sobre a produção da alfafa.

Fonte: Undersander et al. (1994).

Tabela 4. Efeito da relação Ca:Mg sobre o nitrogênio total, a massa fresca e a massa seca dos nódulos da alfafa cultivada em Latossolo Vermelho Escuro distrófico.

Relação Ca:Mg ¹	N total (g kg ⁻¹)	Massa fresca ----- (g vaso ⁻¹) -----	Massa seca
1:0	32,9 ab	0,71 ab	0,12 abc
1:1	30,0 b	0,34 b	0,08 c
2:1	31,4 ab	0,91 ab	0,13 abc
3:1	30,9 b	1,05 ab	0,22 ab
4:1	34,6 a	1,43 a	0,25 a
3:1	32,0 ab	0,40 b	0,09 bc
Média	32,0	0,81	0,15

⁽¹⁾Nos tratamentos foi utilizada saturação por bases de 80%, exceto no último, em que a dose correspondeu ao dobro da utilizada nos tratamentos anteriores. Significativo a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Moreira et al. (1999).

Tabela 5. Rendimento de matéria seca da alfafa em resposta à inoculação e à peletização com três doses de calcário dolomítico⁽¹⁾.

Calcário (t ha ⁻¹)	Técnica de inoculação	Matéria seca (kg ha ⁻¹)
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

⁽¹⁾ Significativo a 5% pelo teste de Duncan. A peletização foi feita com 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 poder tampão e à capacidade de troca de cátions (CTC) do calcário. Apesar de haver trabalhos realizados por Kornelius & Ritchey (1992), sobre efeito residual, e por Moreira et al. (1999) e Gomes et al. (2002), sobre relações Ca:Mg, os quais mostram que o valor de saturação por bases (V%) para alfafa deve estar acima de 95%, atualmente o valor recomendado para correção da acidez, tanto na formação como na manutenção, é de 80% (Werner et al., 1996). Em solos de Curitiba, no Estado do Paraná, com 37,3 g kg⁻¹ de carbono na camada de 0 - 20 cm, esse valor também não condiz com a necessidade real da cultura, pois, neste caso, o V% fica acima do valor limite de 100 (Milla et al., 1993), estabelecido pela fórmula descrita por van Raij et al. (1996) para o método da saturação por bases.

Para aumentar sua eficiência como corretivo, o calcário deve ser incorporado o mais profundamente possível, de três a seis meses antes do plantio, distribuindo-se metade da dose antes da aração e a outra metade antes da gradagem (Barcellos, 1990). Pelo fato de existirem 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 aos corretivos com PRNT igual ou superior a 80%.

Apesar de existirem calcários calcíticos (menos de 5% de MgO), dolomíticos (entre 5% e 12% de MgO) e magnesianos (mais de 12% de MgO), a alfafa responde pouco à relação Ca:Mg, conforme foi demonstrado por Hunter (1948), nos Estados Unidos, e por Moreira et al. (1999) e por Gomes et al. (2002), nas condições de cerrado de Minas Gerais. Neste último trabalho, o excesso de Mg na relação teve efeito negativo sobre a produção de forragem (Tabela 6).

Tabela 6. Influência da relação Ca:Mg na produção de matéria seca da alfafa encontrada na literatura⁽¹⁾.

Hunter (1948)		Moreira <i>et al.</i> (1999)		Gomes <i>et al.</i> (2002)	
Ca:Mg	(t ha ⁻¹)	Ca:Mg	(g vaso ⁻¹)	Ca:Mg	(g vaso ⁻¹)
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				

⁽¹⁾Significativo a 5% pelo teste de Tukey.

4.2. Adubação nitrogenada

A alfafa é uma leguminosa que apresenta alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio, de forma que não é recomendado o emprego de fertilizantes nitrogenados nas culturas já estabelecidas (Nuernberg et al., 1990). Todavia, se não houver restituição do teor de Ca removido no processo de colheita da forragem e se não houver manutenção do pH adequado, 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⁻¹ ano⁻¹, o dobro do encontrado nas 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 fixação biológica (Oliveira et al., 2003). Rando et al. (1994), em Latossolo Roxo eutrófico, no município de Bandeirantes, no norte do Paraná, observaram que, em áreas anteriormente cultivadas com alfafa, as estirpes presentes no solo foram eficientes na nodulação e no suprimento adequado de N para as plantas; mesmo assim, em razão do custo de introdução e manutenção, a reinoculação torna-se necessária, por assegurar a eficiência no suprimento de N, além de o custo ser baixo, o que não justifica essa economia.

Em razão da pequena reserva de N das sementes, há influência positiva no fornecimento de pequenas quantidades de N (efeito “start” ou “arranque”), entre a fase inicial de germinação e a efetivação do processo simbiótico entre a bactéria e a alfafa, sobre a nodulação e a atividade da enzima nitrogenase (Oliveira et al., 2004).

A despeito da sua habilidade de, simbioticamente, fixar o N atmosférico, resultados de experimentos de campo sobre a fertilização nitrogenada da alfafa não são ainda 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 (Figura 4). Entretanto, a média do aumento foi da ordem de 1,6 kg de matéria seca para cada 1,0 kg de N adicionado, o que indica baixa conversão do N aplicado em produção de matéria seca.

Segundo Tsai et al. (1993), as plantas adubadas com N apresentam reduzida nodulação e baixa atividade da nitrogenase, o que sugere efeito negativo do N originário de adubos nitrogenados sobre o processo de infecção e de formação dos nódulos radiculares. Heichel & Vance (1979) verificaram que a adição de 50 mg mL⁻¹ de N no meio diminuiu a porcentagem de nodulação e o número de nódulos por planta de 5,2 para 2,9. Nos dois casos, a produção de matéria seca aumentou com incremento da disponibilidade de N no meio, independentemente da ocorrência de inoculação ou não.

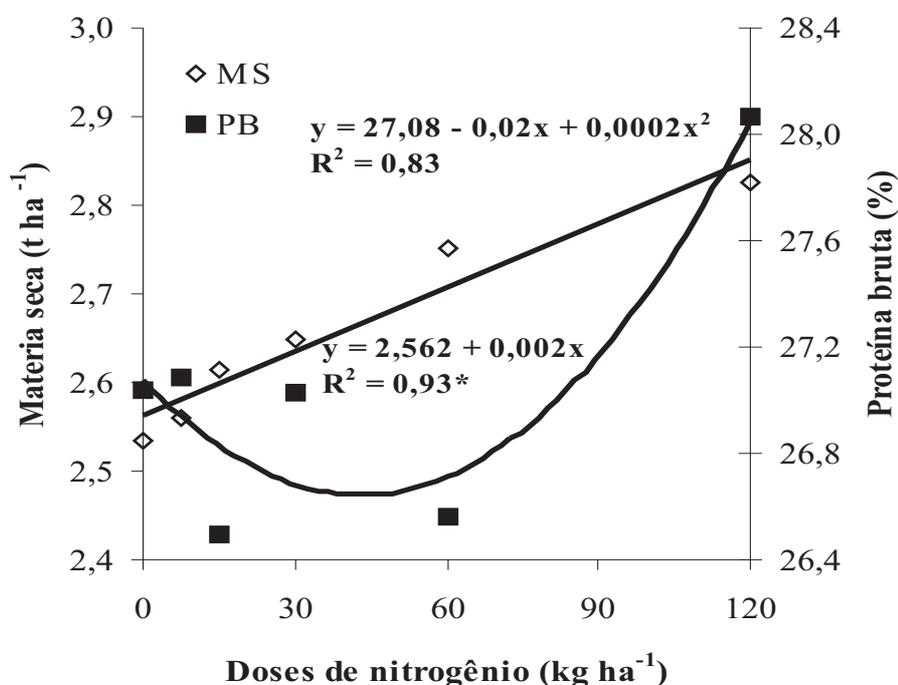


Figura 4. Produção de matéria seca e teor de proteína bruta em função de doses de N.

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

4.3. Adubação fosfatada

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

Embora seja exigido em quantidades menores pela alfafa, comparado com o N, o K e o Ca (Moreira, 1997), o P é o nutriente que tem apresentado as maiores e as mais freqüentes respostas quando aplicado. De acordo com Sarmento et al. (2001), em conseqüência do baixo nível de P nos solos, a longevidade da cultura e a produção são diretamente dependentes da adubação fosfatada para o estabelecimento e para a manutenção do estande.

A aplicação de P depende das características físicas e químicas do solo. Essa aplicação é preferencialmente efetuada em duas ocasiões: durante o plantio, conforme necessidade, ou na reposição, 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, de manganês e de alumínio apresentam baixa solubilidade em água e predominam em solos ácidos. Os compostos insolúveis de cálcio e de magnésio existem em solos com pH acima de 7,0, enquanto as formas mais solúveis de P estão na faixa de pH entre 6,0 e 7,0 (Figura 5), considerada ótima para o cultivo da alfafa (Honda & Honda, 1990).

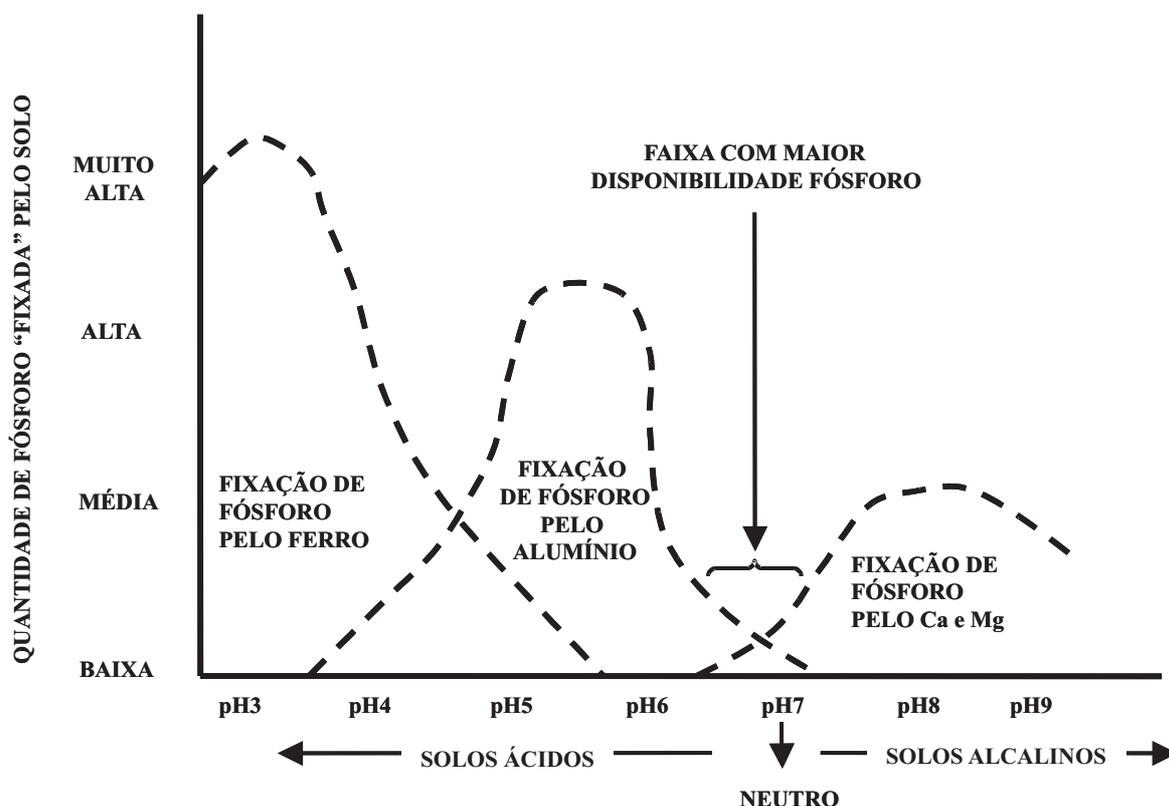


Figura 5. Curva de disponibilidade de P em função do pH do solo.

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

No Estado de São Paulo, Moreira et al. (2002a) estudaram a eficiência de fosfatos naturais reativos, de termofosfatos e de superfosfato triplo como fonte de P para alfafa. Os resultados mostraram que a fonte que apresentou a 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, a partir do quarto corte os fosfatos naturais tenderam a se equiparar às outras duas fontes mais solúveis, o que sugere a conveniência de aplicação de fontes prontamente solúveis no estabelecimento da cultura, podendo-se realizar a substituição dessas por fosfatos naturais solúveis após o quarto corte, quando for economicamente vantajoso.

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

Em experimento conduzido em vasos com fontes e doses de P em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, que continha teor de P disponível de 4,0 mg kg⁻¹ (determinado pelo método da resina) ou de 5,0 mg kg⁻¹ (Mehlich 1), Moreira & Malavolta (2001) verificaram que na ausência da adubação fosfatada a produção da alfafa é muito reduzida. A dose estimada para obtenção da produção máxima foi de 179,5 mg kg⁻¹ de P, o que equivale a 820 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 6). Respostas semelhantes foram obtidas por Dutra et al. (1995), em Planossolo e Argissolo distróficos; nestes dois tipos de solos, o P foi o nutriente que, aplicado isoladamente, determinou o maior efeito sobre a produção da alfafa.

De acordo com Werner et al. (1996), a recomendação para o Estado de São Paulo é de 150, 130, 100 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na implantação, quando os níveis de P extraído por resina forem de 0 a 6 mg dm⁻³, 7 a 15 mg dm⁻³, 15 a 40 mg dm⁻³ e maior do que 40 mg dm⁻³, respectivamente; a recomendação da adubação de reposição deve variar de 40 a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 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, 14 e 24 mg kg⁻¹ de P para solos com mais de 55%, 26% a 44% e menos de 10% de argila, respectivamente; dependendo do teor de P no solo, as doses recomendadas variam de 50 a 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ no plantio e são da ordem de 110 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ na adubação de manutenção. No Estado de Minas Gerais, Evangelista & Reis (1995) também indicaram a faixa de adubação de plantio de 50 a 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ e adubação de reposição de 110 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅.

Um dos fatores de variação 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 (van Raij et al., 2001), nos demais Estados o método utilizado é a solução formada pela mistura de 0,05 mol L⁻¹ de HCl + 0,025 mol L⁻¹ de H₂SO₄, conhecida como solução Mehlich 1 ou “duplo ácido” (Embrapa, 1997). A vantagem desse último método é o baixo custo, porém, em algumas situações, como na utilização de fosfatos naturais não reativos (Catalão, Araxá, Patos de Minas, entre outros), o método pode superestimar a quantidade de P disponível, o que não ocorre com a resina.

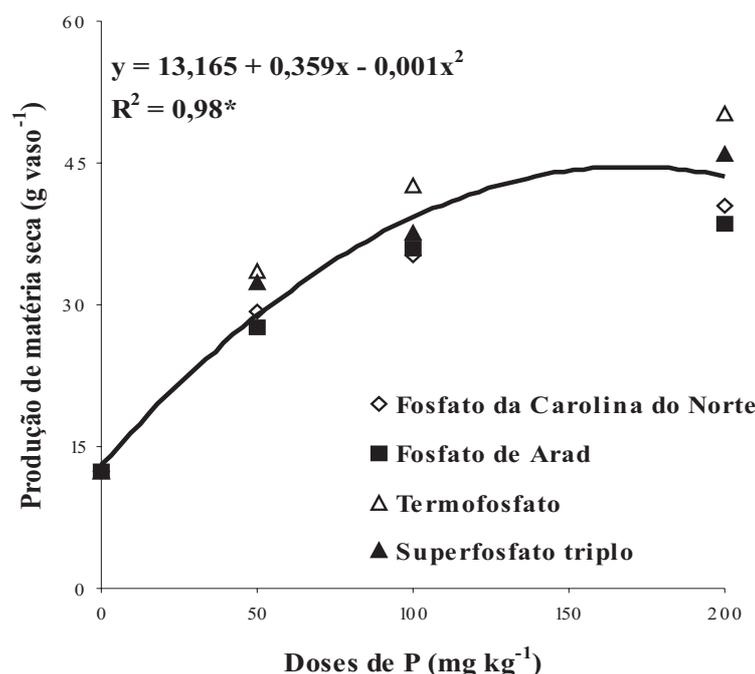


Figura 6. Efeito de fontes e de doses de P sobre a produção de matéria seca da alfafa.

Fonte: Moreira & Malavolta (2001).

4.4. Adubação potássica

O potássio é o nutriente mais requerido pela alfafa (Rassini, 1998), mas também é o mais negligenciado em termos de recomendação e de adubação. Na comparação com outras culturas, a alfafa é uma das que mais exporta K. Em termos de porcentagem de quantidade do nutriente extraído por cultura, está abaixo somente da soja e do feijão (Tabela 7). Por ser um dos nutrientes extraídos em maiores quantidades do solo, na produção de alfafa é necessária especial atenção à adubação potássica (Smith, 1975; Vough & Decker, 1992; Lanyon & Smith, 1985). Lloveras et al. (2001) verificaram extrações de 1500 a 1700 kg ha⁻¹ (com produtividade de 21,5 t ha⁻¹ de matéria seca) 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 apresentam em geral alta solubilidade e podem atingir concentrações elevadas na solução do solo, o que permite também que ocorra 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 & Williams, 2002). Em quantidades adequadas, aumenta a persistência e a longevidade do alfafal (Berg et al., 2005) e sua tolerância às baixas temperaturas (Honda & Honda, 1990). Segundo Collins et al. (1986), o potássio, além de estimular o crescimento da parte aérea das plantas, aumenta a nodulação (número e tamanho dos nódulos) e a fixação de nitrogênio. A disponibilidade de K tem sido associada à fixação de N na cultura por vários autores. Rando & Silveira (1995) observaram que as concentrações de nitrogênio aumentaram na planta quando o potássio era aplicado num solo com baixa disponibilidade do nutriente. Honda & Honda (1990) destacaram que o potássio é o fertilizante-chave para o rendimento elevado e a alta qualidade da alfafa, uma vez que, se bem nutridas, as plantas aumentam sua capacidade de utilizar melhor o nitrogênio e de transformá-lo em proteína. Grewal & Williams (2002) verificaram a diminuição da desfolha e da severidade da pinta preta causada pelo fungo *Pseudopeziza medicaginis* com o aumento do suprimento de potássio para as plantas.

Tabela 7. Produção de matéria seca (alfafa e grama-bermuda), de grãos (soja e feijão), de matéria fresca (cana de açúcar) e de raízes (mandioca), quantidade de K₂O extraído e porcentagem de K₂O exportado em função da produção.

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

⁽¹⁾MS = matéria seca; ⁽²⁾MF = matéria fresca.

Fonte: Adaptado de Honda & Honda (1990).

Para diminuir as perdas, a adubação potássica deverá ser feita no plantio e em cobertura, parceladamente após cada corte. Segundo Lanyon & Griffith (1988), em condições de clima temperado, o parcelamento do K somente será eficiente se as quantidades aplicadas forem maiores do que 446 kg ha⁻¹ de K₂O. Nesse caso, a aplicação deve ser parcelada, a fim de evitar injúrias nas plantas, em razão da presença do cloreto contido no KCl, principal fonte de K utilizada (Smith, 1975). Para condições tropicais brasileiras, com solos com menor densidade de carga, os parcelamentos devem ocorrer com valores acima de 100 kg ha⁻¹ de K₂O (Werner et al., 1996).

A forma mais utilizada para avaliar a disponibilidade de potássio é a trocável, que representa uma boa referência para a adubação. As faixas para interpretação de potássio no solo utilizadas em São Paulo, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, em Minas Gerais e na região dos Cerrados é apresentada na Tabela 8. No entanto, de acordo com Vough & Decker (1992) e Lloveras et al. (2001), a alfafa pode também absorver K das frações não trocáveis do solo, porém, os métodos de análise de rotina ainda não detectam a contribuição dessas formas.

Tabela 8. Faixas para interpretação e níveis críticos de potássio no solo.

Interpretação	SP ⁽¹⁾	RS e SC ⁽²⁾	MG ⁽³⁾	Cerrados ⁽⁴⁾	
	Resina	----- Mehlich 1 -----	-----	CTC cmol _c 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⁾ van Raij et al. (1996); ⁽²⁾ Tedesco et al. (2004); ⁽³⁾ Alvarez Venegas et al. (1999); ⁽⁴⁾ Vilela et al. (2002).

Nas condições do Estado de São Paulo, Rassini & Freitas (1998), em experimento de campo, em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, verificaram que a alfafa apresentou, mesmo com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de K₂O antes do plantio, resposta linear no rendimento de matéria seca à adubação de cobertura até a dose de 100 kg ha⁻¹ de K₂O por corte (Figura 7), não havendo neste caso problemas visuais de fitotoxidez. Com essa dose, após o último corte, os níveis no solo estavam altos, na ordem de 5,3 mmol_c dm⁻³. Nesse

mesmo local, Bernardi et al. (dados não publicados) trabalharam com doses e com freqüências de fornecimento de fertilizante potássico e obtiveram respostas quadráticas; a produção máxima de 14 t ha⁻¹ de matéria seca foi alcançada com a dose de 124 kg ha⁻¹ de K₂O aplicada após cada corte. Essa produtividade foi equivalente à obtida nas freqüências de adubação a cada dois e três cortes (F6 e F4, respectivamente, na Figura 8). A produção máxima obtida no tratamento F2, ou seja, duas aplicações de adubo no ano, foi cerca de 10% menor que a média dos outros tratamentos (Figura 8).

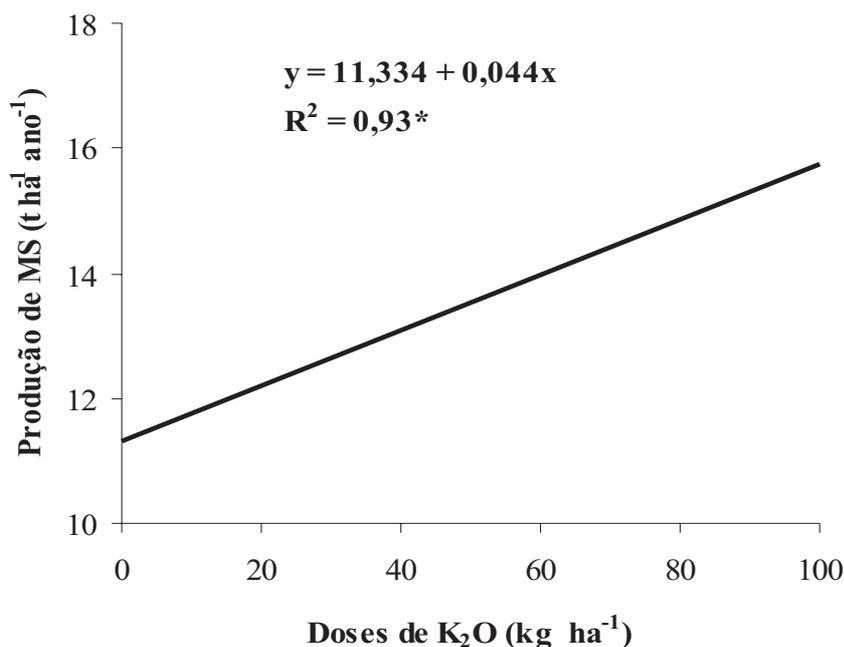


Figura 7. Estimativa da média de produção de matéria seca (MS) de alfafa, em função de seis doses de potássio.

Fonte: Rassini & Freitas (1998).

Em estudo que visou conhecer as necessidades da cultura no norte do Paraná, Rando (1993) verificou que a adubação potássica realizada na cultivar Crioula em Latossolo Roxo eutrófico incrementou a produção de matéria seca em todos os oito cortes realizados. As aplicações de 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de K₂O resultaram em aumentos de 22%, 41% e 45%, respectivamente, no rendimento de matéria seca. De acordo com a equação de regressão ($y = 12759,94 + 24,6923x - 0,02464x^2$) ajustada com base nas doses (x) e na produção (\hat{y}), a maior produção estimada na soma dos oito cortes foi alcançada com aplicação de 500 kg ha⁻¹ de K₂O. No mesmo trabalho, Rando (1995) estipulou que, para se obter 90% da produção máxima, a alfafa exigiria no primeiro corte 132 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto na soma do primeiro e do segundo corte a exigência seria de 217 kg ha⁻¹ de K₂O.

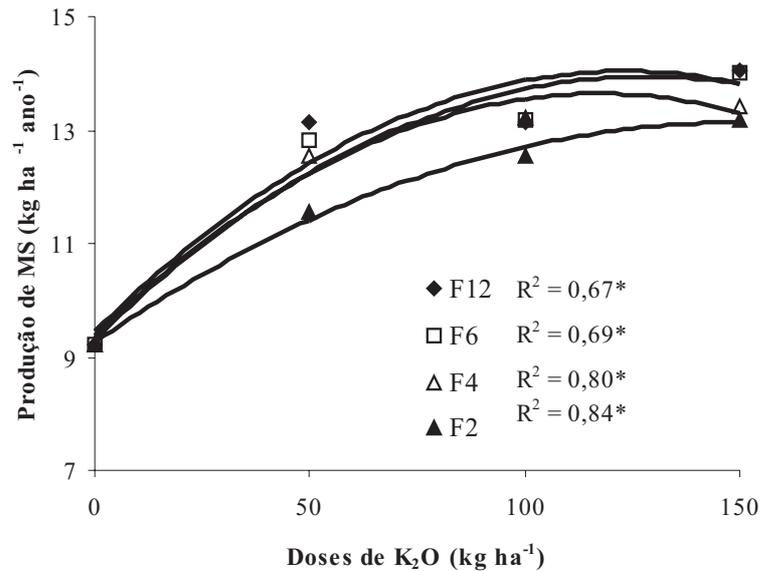


Figura 8. Estimativa da média de produção de matéria seca (MS) de alfafa, em função de doses de potássio e de frequências de aplicação - $p \leq 0,05$.

Fonte: Bernardi et al. (dados não publicados).

Segundo Bernardi et al. (2006), o principal critério para recomendação de adubação deve ser a disponibilidade de K no solo. Para efeitos práticos de cálculo, considera-se que 1.000 kg ha^{-1} de K_2O elevam o teor de K no solo em $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (método da resina). As doses de K podem ser calculadas com base na análise de solo e na textura, para elevar os teores do nutriente em 2,0% e em 3,0% da CTC, em solos arenosos e argilosos, respectivamente. A relação $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})$ aparentemente não é relevante, desde que atendidos os níveis de suficiência e desde que se evitem desequilíbrios com os teores de cálcio e de magnésio como nutrientes (Moreira et al., 2005).

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

No caso do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, de acordo com Tedesco et al. (2004), a recomendação da adubação potássica é de 460, 420, 380, 340, 300 e menor de 300 kg ha^{-1} de K_2O para os seguintes teores: menos de 20, 21 a 40, 41 a 60, 61 a 80,

81 a 120 e mais de 120 mg dm^{-3} de solo ou menos de 0,5; 0,6 a 1,0; 1,1 a 1,5; 1,6 a 2,0; 2,1 a 3,0 e mais de 3,0 mmol $\text{c} \text{ dm}^{-3}$ (extrator Mehlich 1). Nas condições edafoclimáticas da região Sul, 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.

4.5. Adubação sulfatada

A alfafa é uma cultura relativamente exigente em enxofre (Nuernberg et al., 1990). O enxofre é importante em combinações com o N na síntese de proteínas, na composição de alguns aminoácidos essenciais, como cistina, metionina e cisteína, e na composição de algumas vitaminas (Rhykerd & Overdahl, 1972).

No solo, quantidades consideráveis de enxofre são retidas na matéria orgânica, que, pela atividade microbiana, são convertidas em produtos disponíveis para as plantas e que permanecem na solução do solo. O sulfato pode atuar como carreador de cátions (K, Ca e Mg) no perfil do solo, porém, em solos com baixo teor de bases trocáveis, esse íon pode induzir a deficiência desses nutrientes. A Tabela 9 mostra a classificação dos teores de S verificados em 90.000 amostras de solos brasileiros. Observa-se que 66% dos solos apresentaram níveis baixos ou muito baixos de S.

O teor de S-total no solo é variável; é maior nas regiões de clima temperado e menor, nas regiões tropicais. O valor mínimo nos solos do agreste de Pernambuco é de 20 mg kg^{-1} , nos Estados de São Paulo e do Paraná esses valores estão entre 43 e 398 mg kg^{-1} , enquanto nos solos do Rio Grande do Sul o valor médio encontrado foi de 235 mg kg^{-1} (Wolffenbüttel & Tedesco, 1981).

De acordo com Griffith (1974), mesmo em solos considerados suficientes em S disponível, a aplicação do nutriente duplicou a produção de matéria seca da alfafa, a qual passou de 4,0 para 9,4 e para 9,7 t ha^{-1} com o emprego de 56 kg ha^{-1} de S nas formas de enxofre elementar e de gesso, respectivamente; ainda, houve aumento no conteúdo de proteína na planta.

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

Tabela 9. Classificação dos teores de S disponível em 90.000 amostras de solo do Brasil.

Classificação	Enxofre	
	Teor (mg dm ⁻³)	Total (%)
Muito baixo	< 5	45
Baixo	6 – 10	21
Média	11 – 15	12
Alto	16 – 20	22
Muito Alto	> 20	0

Fonte: Malavolta (2006).

Em relação ao efeito benéfico na resposta da alfafa ao enxofre, Rando & Silveira (1995) verificaram nas condições edáficas do município de Bandeirantes, no Estado do Paraná, que o rendimento de matéria seca aumentou significativamente com incremento das doses, independentemente da concentração de K no solo; as quantidades de 100 e de 300 mg kg⁻¹ de K foram as que ocasionaram a maior produção em função da aplicação de S.

Para os solos de cerrado do sul de Minas Gerais, Moreira et al. (1997a) recomendaram a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de S por ocasião do plantio da alfafa. Para o Estado de São Paulo, a quantidade indicada por Werner et al. (1996) é de 50 kg ha⁻¹ de S, na época de plantio, e de 4 kg ha⁻¹ de S por tonelada de matéria seca produzida, na adubação de reposição. No caso do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, levando em conta o teor existente no solo e o que é retirado pela cultura anualmente, podem ser usadas doses próximas a 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S (Nuernberg et al., 1990).

Na região norte do Estado do Paraná, a recomendação adaptada de Rando & Silveira (1995) para Latossolo Roxo eutrófico é de 45 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S no plantio. Se for utilizado o superfosfato simples (12% de S), a dose de enxofre deve ser recalculada, em função da quantidade recomendada pela adubação.

4.6. Adubação com micronutrientes

Os micronutrientes (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e Zn) são elementos essenciais para o crescimento das plantas, mas são exigidos em quantidade menor do que a dos macronutrientes. Estudos feitos nas condições tropicais com micronutrientes para a cultura da alfafa são escassos. Encontraram-se na revisão de literatura somente os trabalhos de Malavolta et al. (1953) e de Santos et al. (2004), com B, porém, o primeiro utilizou somente a dose 1,5 kg ha⁻¹ de B e o segundo, solução nutritiva, e de Kornelius & Ritchey (1992), com Zn; os resultados obtidos nos dois primeiros ensaios mostraram incremento significativo na produção de matéria seca com a aplicação de boro.

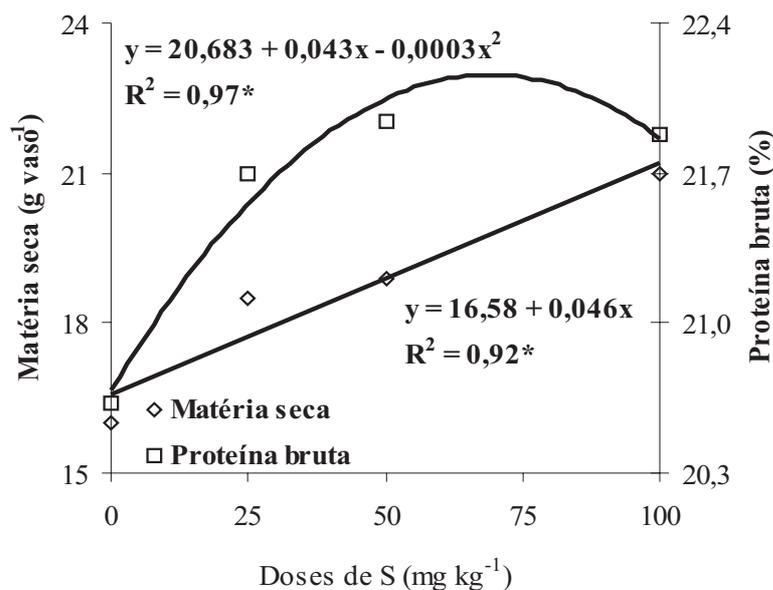


Figura 9. Produção de matéria seca e de proteína bruta em função de doses de S aplicadas na forma de gesso.

Fonte: Moreira et al. (1997a).

As fontes variam de modo considerável, de acordo com estado físico, reatividade química e disponibilidade para as plantas. Algumas fontes mais comuns são os sais, os quelatos sintéticos, os complexos orgânicos e as “fritas” (produtos vítreos e moídos, denominados de FTE®). Algumas fontes de micronutrientes, exceto o Co e o Ni, utilizadas na agricultura e essenciais para leguminosas são apresentadas na Tabela 10.

A aplicação de calcário em grandes quantidades, como exige a cultura da alfafa (item 4.1), ocasiona a elevação do pH e a diminuição da disponibilidade de micronutrientes, com exceção do Mo. Outros fatores que podem influenciar a absorção dos micronutrientes são as relações interiônicas, que podem diminuir ou aumentar a absorção mediante processos de antagonismo, de inibição competitiva ou de sinergismo de alguns elementos citados por Malavolta (2006), entre elas: P e Zn, Ca e Mn, Ca e Zn, P e Fe, Mg e Mn, e N e B.

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

No experimento realizado com calcário, o aumento da dose do corretivo diminuiu a absorção de B, de Fe, de Mn e de Zn, mas não a de Cu (Moreira et al., 2000). De acordo com Kornelius & Ritchey (1992), em Latossolo Vermelho Escuro, da fase cerrado de

Planaltina, DF, o efeito residual do calcário inibiu o efeito do Zn sobre a produção da alfafa, mesmo dez anos após a aplicação do calcário e do Zn (Tabela 11). 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); além disso, sob condições de altas doses de P, tal fenômeno é mais evidenciado, existindo, neste caso, uma inibição fisiológica que afeta a translocação do Zn absorvido pelas raízes para a parte aérea da planta. No caso dos teores de Fe e de Mn, o aumento da relação P:Mg no solo pode minimizar o efeito de inibição (Moreira et al., 2006).

As doses de micronutrientes a serem recomendadas para o Distrito Federal e para os Estados de Minas Gerais, do Paraná, do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, e de São Paulo encontram-se na Tabela 12. Exceto no Distrito Federal, que indica o parcelamento da adubação em duas partes iguais antes da semeadura e 30 a 60 dias após o plantio, nos Estados mencionados a adubação total deve ser feita por ocasião do plantio. Tais diferenças advêm da ausência de pesquisas, sendo as adubações extrapoladas de outras culturas. Com relação ao Co, ao Mo e ao Ni, em razão da menor quantidade aplicada, estes devem ser colocados no tratamento das sementes. Apesar de ser formulação preestabelecida, as fritas (FTE®) podem ser uma opção na substituição dos sais (Barcellos, 1990; Rassini, 1998).

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 desses micronutrientes nos resultados de análise de solo e de folhas. O Ni, o Mo e o Co, por serem necessários em quantidades muito pequenas, podem ser fornecidos mediante fertilização foliar nos alfafais já estabelecidos.

4.7. Adubação orgânica

A implantação da alfafa requer adubação orgânica, uma vez que, além de melhorar as propriedades físicas do solo, essa adubação melhora a fertilidade, principalmente em termos de micronutrientes. A perda de amônia, em decorrência da mistura de esterco e de corretivo (calcário), é irrelevante, uma vez que o N deve ser oriundo da fixação simbiótica do nitrogênio (Rassini, 1998). Entretanto, deve-se avaliar muito bem o teor de N do solo e da matéria orgânica a ser usada. Se a quantidade do N fornecido pelo solo e o grau da mineralização da matéria orgânica forem muito altos, o estabelecimento do processo de fixação biológica do N ficará prejudicado e o alfafal passará a depender da adubação com N, tornando a cultura antieconômica.

Tabela 10. Fonte e concentração de micronutrientes em alguns fertilizantes mais usados.

Elemento	Fonte	Solubilidade em água	Concentração do elemento (%)
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
	FeEDTA ⁽¹⁾	Solúvel	5 - 9
	FeSO ₄ ·(NH ₄) ₂ SO ₄	Solúvel	22
Manganês	MnSO ₄ ·4H ₂ O	Solúvel	24
	MnO	Insolúvel	41 – 68
	Oxissulfato 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	36
	Complexo ZnSO ₄ -NH ₃	Solúvel	10 – 15
	ZnO	Insolúvel	60 – 78
	Oxissulfato de Zn	Variável	18 – 50

¹ FeEDTA = etilenodiaminotetracetato de ferro.

Fonte: Adaptado de Mortvedt (1991).

Tabela 11. Média de produção de matéria seca de seis cortes de alfafa (kg ha^{-1}), sob o efeito residual de calcário e de zinco, cultivada em Latossolo Vermelho Escuro de Planaltina, DF⁽¹⁾.

Zn (kg ha^{-1})	Doses de calcário (t ha^{-1})			Produção (kg ha^{-1})
	7,5	15,0	22,5	
0	7.499	9.360	10.028	8.962 a
3	7.568	9.731	10.244	9.181 a
9	9.073	10.306	9.529	9.636 a
Média	8.047 b	9.799 a	9.934 a	9.260

⁽¹⁾Significativo a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Kornelius & Ritchey (1992).

Tabela 12. Recomendação de adubação com micronutrientes para o Distrito Federal e para os Estados de Minas Gerais, do Paraná, do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, e de São Paulo.

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^{-1})				
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 – 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 & 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 dos autores.

As fontes mais comumente utilizadas são esterco de bovinos, de suínos e de aves, e, com alguma restrição, cama de frango e esterco de galinha poedeira. Kiehl (1985), em revisão de literatura, mostrou que, dentre a aplicação de esterco de poedeiras, a fertilização mineral (NPK) + calcário ou a combinação desses tratamentos, a aplicação única de esterco de poedeiras foi a menos eficiente no aumento da produção da alfafa, quando comparada com os outros tratamentos. O maior rendimento resultou da adubação mineral + calcário, combinada com o esterco de poedeiras (Tabela 13).

Tabela 13. Média do rendimento (kg ha⁻¹) das culturas em função da aplicação de esterco de poedeiras (EP), adubação mineral (NPK) + calcário (AM) e da combinação de ambas⁽¹⁾.

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

⁽¹⁾Significativo a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Kiehl (1985).

5. Estado nutricional

5.1. 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 teor de proteína é obtida quando cerca de 10% das plantas estão florescidas (Figura 10 - Nuernberg, 1986). Nesse estágio, deve-se coletar ao acaso no alfafal vinte pontos amostrais, de toda as partes da planta, e desse material fazer uma amostra composta, que deve ser secada e guardada em saco de papel até a realização das análises.

Na Tabela 13, são apresentadas as faixas de concentração dos macronutrientes e dos micronutrientes obtidas em diferentes condições edafoclimáticas, para interpretação da análise foliar.

Pelo fato de haver grande número de publicações sobre assunto, as funções dos nutrientes nas plantas não serão descritas neste trabalho; detalhes sobre os elementos podem ser encontrados em Rhykerd & Overdahl (1972), Honda & Honda (1990), Marschner (1995) e Malavolta (2006).

Por se tratar de cultura exigente em fertilidade do solo, a alfafa demanda grandes quantidades de nutrientes para se desenvolver, pois exporta para cada 10 t de matéria seca, em kg ha^{-1} : 560,5 de N, 56,1 de P, 560,5 de K, 392,4 de Mg e 56,1 de S (Rhykerd & Overdahl, 1972).

Em decorrência do uso de cultivares de diferentes origens e, principalmente, das condições edafoclimáticas distintas de cada região, existe grande variabilidade nos limites de interpretação utilizados para diagnosticar o estado nutricional da alfafa (Tabela 14). O uso adequado de fertilizantes e de corretivos e o monitoramento constante do estado nutricional, aliado ao manejo fitossanitário adequado, pode aumentar significativamente a longevidade do alfafal.

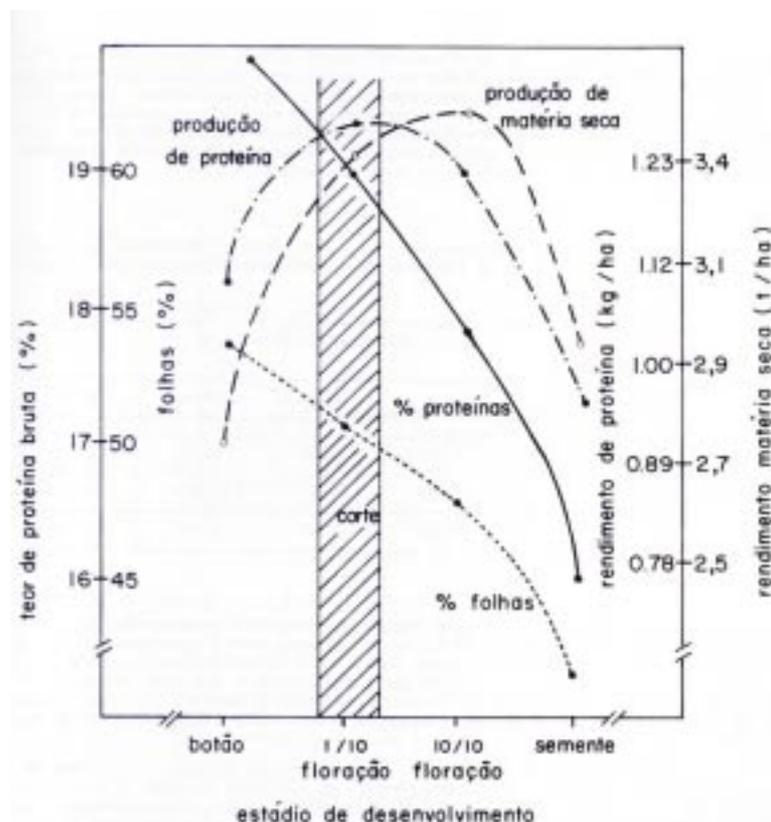


Figura 10. Efeito do estágio de maturidade da alfafa no rendimento de matéria seca, na porcentagem de folhas e no teor de proteína bruta.

Fonte: Nuernberg (1986).

5.2. *Diagnose visual*

A falta ou o excesso de um ou de mais nutrientes na planta provoca anomalias visíveis (clorose, morte dos tecidos e redução do crescimento), denominadas sintomas visuais, que são características para cada nutriente. Quando os sintomas visuais se manifestam, o crescimento e a produção já foram comprometidos.

Segundo Silveira et al. (2001), para realizar o diagnóstico de deficiência ou de 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 ao da deficiência de cálcio. Danos radiculares provocados, por exemplo, por nematóides ou outros organismos do solo podem resultar em amarelecimento das nervuras.
- b) **Distribuição dos sintomas de anormalidade dentro das áreas (reboleiras)** – Quando se trata de sintomas de deficiência ou de toxicidade, estes distribuem-se em talhões ou em 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, tais como ataque de pragas e/ou doenças;
- d) **Gradiente dos sintomas** – Os sintomas de deficiência nutricional apresentam gradientes de acordo com os 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 nas 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 aos de deficiências (B, Fe e Zn) ou aos de toxidez (B ou K).

Tabela 14. Limites de concentração de nutrientes referidos na literatura, para interpretação dos dados de análise foliar da alfafa.

Nutrientes	Rhykerd & Overdahl (1972) ⁽¹⁾ ; Plancquaert (1977) ⁽²⁾	Planck (1988) ⁽³⁾ ; Undersander <i>et al.</i> (1994) ⁽⁴⁾	Moreira <i>et al.</i> (1997a, 1997b, 2000, 2001 e 2002b) ⁽⁵⁾	Culot (1986) ⁽⁶⁾	Jones & Quagliato (1970) ⁽⁷⁾ ; Kornelius & Ritchey (1992) ⁽⁸⁾ ; Rando & 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 ⁻¹) -----					
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 & 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 & Quagliato (1970), SP; ⁽⁸⁾ Kornelius & Ritchey (1992), DF, e ⁽⁹⁾ Rando & Silveira (1995), PR – cultivar Crioula.

Na Tabela 15, estão listados os sintomas e a chave de identificação de deficiências dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) na alfafa. Os sintomas ocasionados pela carência de Co e de Ni não foram encontrados na literatura e são adaptados dos descritos por Eskew *et al.* (1984) e por Malavolta (2006) para outras leguminosas.

Tabela 15. Chave de identificação dos sintomas de deficiência mineral na alfafa.**A. Os sintomas aparecem preferencialmente nas folhas mais velhas****A.1. Clorose**

- A.1.1.** Tonalidade verde-clara a amarela; diminui o crescimento.....N
- A.1.2.** Pontos brancos no limbo foliar com folhas pequenas; em caso avançado, pode amarelar toda a folha, causando senescênciaK
- A.1.3.** Na parte internerval das folhas velhas e as margens das nervuras inicialmente permanecem verdes e em casos extremos os bordos secam.....Mg

A.2. Coloração verde-azulada

- A.2.1.** Coloração verde-azulada, espessa, atrofia e crescimento ereto. Os folíolos dobram e o caule pode ficar vermelho ou purpúreo..... P

B. Os sintomas surgem inicialmente nos órgãos mais novos**B.1. Clorose nas folhas novas**

- B.1.1.** Na parte internerval das folhas novas (reticulado fino), com posterior branqueamento das partes mais novas se estendendo para todas as folhasFe
- B.1.2.** Na parte internerval das folhas novas (reticulado fino); sintoma semelhante ao da deficiência do MgMn
- B.1.3.** Coloração verde-clara, similar à da deficiência de N; o caule fica fino com crescimento fraco S

B.2. Deformação das folhas novas

- B.2.1.** Tamanho das folhas reduzido; internódios curtos e ascendentes; encurvamento das folhas novasZn
- B.2.2.** Curvatura severa do pecíolo e pontos acidentados nas folhas medianas..... Cu
- B.2.3.** Folhas novas com tonalidade amarelo-pálida e raquíticas, semelhantes à deficiência de NMo
- 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 do inseto sugador da batata (*Empoasca fabae* L.)B

continua...

continuação...

B.2.5. Má formação das folhas novas, com necrose em todo o limbo, e surgimento de pontos escuros e encurvamento do limbo foliar, e problema no florescimento	Ni
B.2.6. Apesar de ser imóvel na floema e por atuar na fixação biológica do N, os sintomas de carência se assemelham aos da carência do N	Co
B.2.7. O crescimento do sistema radicular é prejudicado. As folhas se curvam para cima e ocorre colapso do pecíolo das folhas novas recém-amadurecidas	Ca

6. Considerações finais

Em razão das qualidades excepcionais da alfafa como fonte protéica e de volumoso e dos trabalhos que mostram respostas significativas da aplicação de fertilizantes e de corretivos sobre a produção, é necessário maior aprofundamento nos seguintes estudos:

- a) Definição da saturação por bases (V%) adequada para cultura.
- b) Utilização do gesso agrícola como melhorador do subsolo, com a correção da acidez derivada do Al trocável, para aumentar a longevidade, com maior área explorada pelas raízes.
- c) Seleção de estirpes de *Rhizobium* tolerantes a solos tropicais e subtropicais, com maior acidez, para fixação simbiótica do N.
- d) Parcelamento e fontes alternativas de potássio.
- e) Reciclagem de nutrientes.
- f) Dinâmica da matéria orgânica correlacionada com a produção.
- g) Testes de calibração para os micronutrientes.
- h) Padronização ou regionalização dos limites de interpretação dos teores foliares, de acordo com a cultivar utilizada.
- i) Calibração de extratores de solo, de acordo com a metodologia utilizada na região.

7. Literatura citada

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. (Eds.). **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 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1995.

BARCELLOS, J. M. **A cultura da alfafa**. Planaltina: CPAC, 1990. 12 p. (Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. 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**, v. 45, n. 1, p. 297-304, 2005.

BERISTAIN, J. C. L. **La alfalfa**. Barcelona: Salvat Editores, 1932. 120 p.

BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, O. Adubação potássica em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: FERTIBIO, 5., Bonito, 2006. **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: BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P.; VILELA, D. (Eds.). **Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa* L.) nos trópicos**. 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: Embrapa Gado de Leite, 1994. 44 p.

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.

CULOT, J. P. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. In: **Investigación tecnología y producción de alfalfa**. Buenos Aires: INTA, 1986. p. 81-117.

DEL POZO, M. **La alfalfa; su cultivo y aprovechamiento**. Madrid: Mundi-Prensa, 1983, 380 p.

DUTRA, I. M. S.; SIEWERDT, L.; SIEWERDT, F.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Efeitos da adubação e da calagem na produção de matéria seca das alfafas Crioula e Huinca, em dois solos ácidos, no Rio Grande do Sul. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 24, n. 4, p. 494-501, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, Embrapa, 1999. 412 p.

ESKEW, D. L.; WECH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants. **Plant Physiology**, v. 76, p. 691-693, 1984.

- EVANGELISTA, A. R.; REIS, S. T. **A cultura da alfafa**. Lavras: UFLA, FAEPE, 1995. 10 p.
- FONTES, P. C. R. Fertilização da cultura da alfafa. In: BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P.; VILELA, D. (Eds.). **Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa* L.) nos trópicos**. Juiz de Fora: CNPGL, 1994. p.99-115.
- 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**, v. 21, n. 6, p. 996-997, 1992.
- GNIS. **La luzerne**. Paris: Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants, 1991. 12 p. (Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants. 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**, 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 alfafa. **Journal of Plant Nutrition**, 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**, 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 alfafa as affected by variation in the calcium-magnesium ratio in the soil. **Soil Science**, 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**, v. 5, n. 1, p. 359-363, 1970.
- KEPLIN, L. A. S. Metodologia de estabelecimento e avaliação de alfafa sob condições de corte. In: BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P.; VILELA, D. (Eds.). **Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa* L.) nos trópicos**. Juiz de Fora: CNPGL, 1994. p. 29-36.

- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Ceres, 1985. 492 p.
- KOLLING, J.; SCHOLLES, D.; SELBACH, P. A. Peletização e inoculação de alfafa em diferentes doses de calcário. II – Experimento a campo. **Agronomia Sulriograndense**, 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**, 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. **Alfalfa and alfalfa improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 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: Edições SAI, 1959. 38 p.
- LLOVERAS, J.; FERRAN, J.; BOIXADERA, J.; BONET, J. Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 139-143, 2001.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E.; COURRY, 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**, v. 10, p. 48-65, 1953.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 888 p.
- MILLA, L. M. P.; PREVEDELLO, C. T.; USHIWATA, C. T.; DEOLINDO, J. V. P.; BITTENCOURT, A.; TESSEROLI, J. M.; SILVEIRA, R. C. C. Efeito da calagem na produção e composição da alfafa (*Medicago sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. **Anais...** Goiânia: SBCS, UFG. 1993. p. 11-12.
- 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 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1997.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 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**, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um Latossolo vermelho Amarelo distrófico cultivado com alfafa. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 786-794, 2005.
- 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**, 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**, 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**, v. 63, p. 55-61, 2006.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes e doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.12, p. 1519-1527, 2001.
- 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**, 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**, v. 59, n. 2, p. 157-165, 2002b.
- MOREIRA, A.; SALVADOR, J. O. *Medicago sativa* L. **NotasIQ**, v. 23, n. 5, p. 8, 1998.
- MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizer technology. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Eds.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548.
- NUERNBERG, N. J. Técnicas de produção de alfafa. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Eds.). CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGEM, 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.
- NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P. Valor nutritivo e conservação. In: PEIXOTO, A.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C.; FARIA, V. P. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM: ALFAFA, .16., Piracicaba, 1999. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 153-173.
- OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; TSAI, S. M. Associação simbiótica com a microbiota do solo. In: PEIXOTO, A.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C.; FARIA, V. P. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM: ALFAFA, .16., Piracicaba, 1999. **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**, v. 34, n. 6, p. 1275-1286, 2003.

OLIVEIRA, W. S.; OLIVEIRA, P. P. A.; DUARTE, F.R.S.; TSAI, S. M. Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti*. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 433-438, 2004.

PLANCK, C. O. Alfalfa. 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**, n. 3, p. 46-55, 1977.

RANDO, E. M. Adubação da alfafa (*Medicago sativa* L.) com potássio e enxofre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **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., Viçosa, 1995. **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**, 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., Petrolina, 1994. **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**, v. 27, n. 3, p. 487-490, 1998.

RHYKERD, C. L.; OVERDAHL, C. J. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, C.H. (Ed.). **Alfalfa science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, v. 2, 1972. 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 of cultivar Crioula in relation to boron supply. **Scientia Agricola**, 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**, v. 58, n. 2, p. 81-390, 2001.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. Seja doutor do seu eucalipto. **Arquivo do Agrônomo**, n. 12, p. 1-32, 2001.

SMITH, D. Effects of potassium topdressing in a low fertility silt loam soil on alfalfa herbage yields and composition and on soil K. **Agronomy Journal**, v. 67, n. 1, p. 60-64, 1975.

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.

TSAI, S. M.; SILVA, P. M.; CABEZAS, W. L.; BONETTI, R. Variability in nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropped with maize. **Plant and Soil**, 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.

VAN RAIJ, B.; 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.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico Campinas, 1996. 285 p. (Instituto Agronômico Campinas. Boletim Técnico, 100).

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **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 Plant Food**, v. 76, p. 24-26, 1992.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O.; QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; 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 Técnico, 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**, v. 17, n. 2, p. 357-376, 1981.