



**Curso de Pós-Graduação em
Estratégias Integradas para
Pecuária de Corte: produção,
eficiência e gestão**



Módulo I

FERTILIDADE DO SOLO PARA PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS



**Prof. Dr. Reges Heinrichs
UNESP - Dracena**



Introdução



AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO

Inicialmente: realizada de forma subjetiva e empírica
→ como referência o desenvolvimento da
vegetação.

Atualmente: modo técnico, os recursos para
avaliação da fertilidade do solo pode ser agrupado
da seguinte forma:



- a) Observação de sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas;
- b) Análises de folhas ou outros tecidos vegetais;
- c) Ensaio bioquímico com plantas;
- d) Análise química do solo.



Análise química do solo



Objetivos:

- a) Manter o nível de fertilidade da área;
- b) Predizer a probabilidade de se obter resposta lucrativa com o uso de corretivos e fertilizantes;
- c) Fornecer base para recomendação da qualidade de calcário e fertilizante a aplicar;
- d) Avaliar o estado de fertilidade de um município, região ou Estado pelo uso de sumários de análises de solos.



Análise química do solo



1) Amostragem

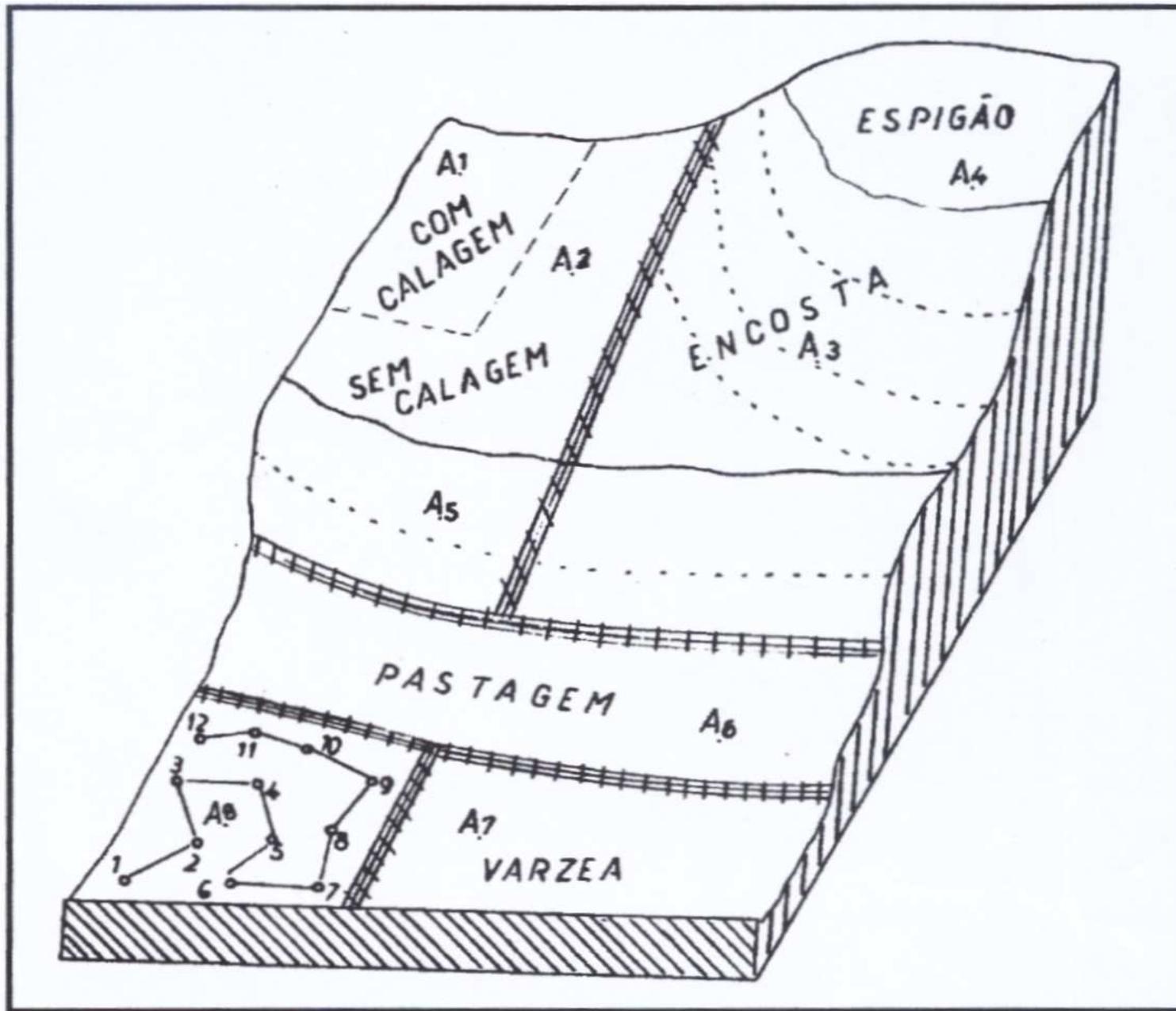
Um dos aspectos mais importantes em análise para fins de fertilidade é a necessidade de que a amostra seja representativa da área.

10 ha lavoura	Amostra composta	Análise do solo
20.000.000 kg de terra	0,5 kg	2,5 g



1.1) Critérios para Selecionar Glebas Uniformes

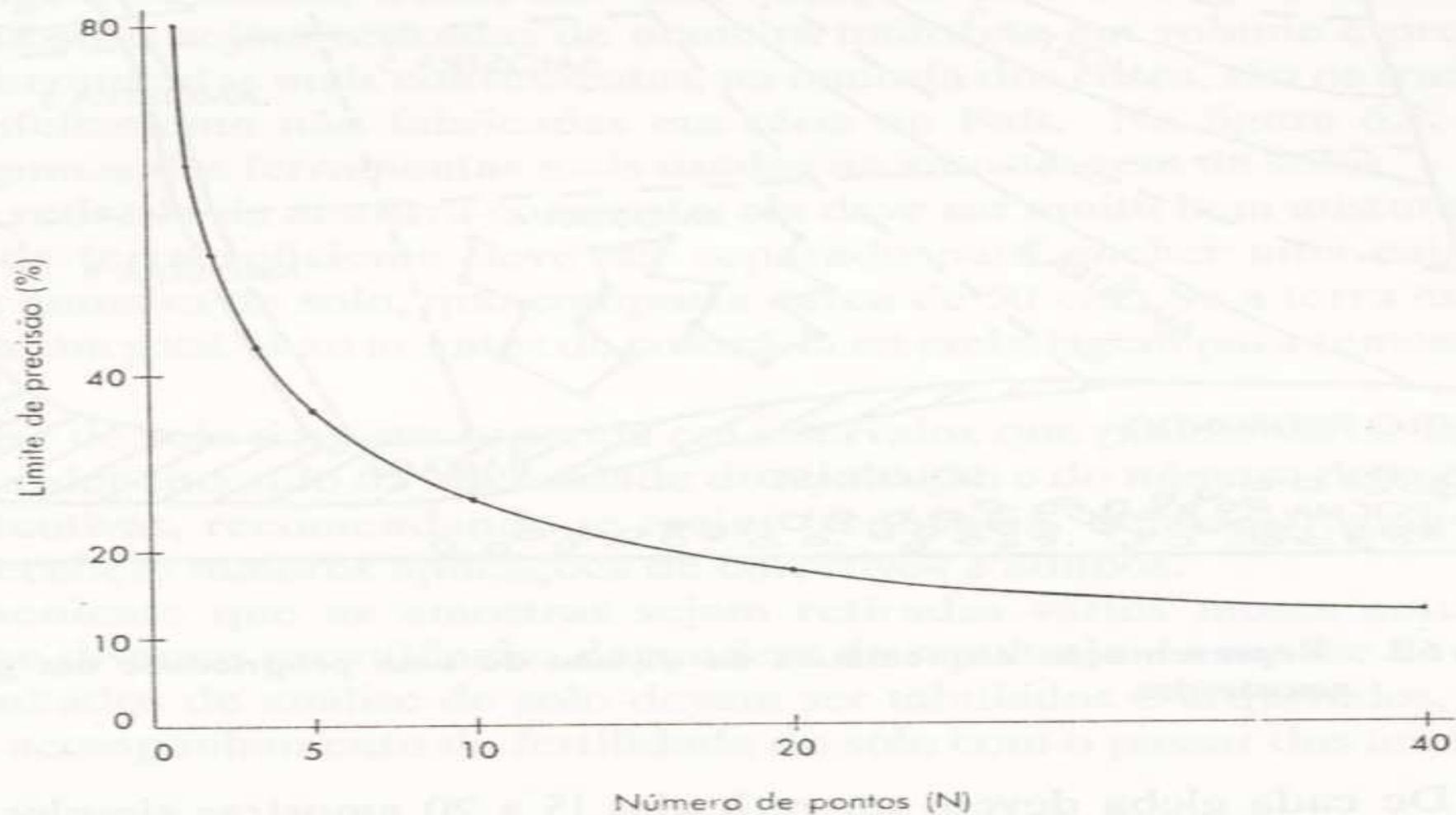
- a) Topografia
- b) Cobertura vegetal ou cultura
- c) Cor do solo
- d) Textura
- e) Drenagem
- f) Histórico de calagem e adubação



Divisão do terreno em glebas de acordo com os acidentes ou uso para a coleta das subamostras por caminhamento em zig-zag.



1.2) N° de sub-amostras: 15 a 20 sub-amostras coletadas em zig-zag por amostra composta;







1.3

1.4

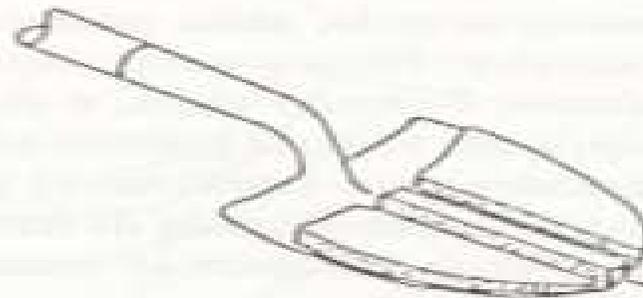
ca

1.5

1.6

cu

es

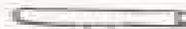


PA

RETIRE A PARTE CENTRAL APENAS



TRADO DE ROSCA



SONDA



TRADO HOLANDÊS



ENXADÃO

m;

Ferramentas para amostragem do solo



Erros Mais Freqüentes na Amostragem do Solo

- a) Coleta de sub-amostras em local não apropriado;
- b) Divisão da propriedade em glebas sem uniformidade;
- c) Reduzido número de sub amostras;
- d) Colocar identificação de papel dentro do saco plástico;
- e) Amostras muito úmidas.



SISTEMA SOLO-PLANTA



(M) Nutriente

(M) fase sólida \leftrightarrow M (solução) \leftrightarrow M(raiz) \leftrightarrow M (parte aérea)

Fase sólida: - reservatório

- M.O. + fração mineral

Solução: compartimento para a absorção radicular

Fase sólida \rightarrow solução : - disponibilidade

- dessorção

- mineralização da M.O.



Solução → fase sólida:

- adsorção
- fixação
- imobilização

Solução → raiz: absorção

Raiz → solução: troca, excreção, vazamento

Raiz → parte aérea: transporte a longa distância

Parte aérea → raiz: redistribuição



1) CONTATO RAIZ – ELEMENTO

a) Interceptação radicular: a raiz ao se desenvolver, entra em contato com o íon da fase sólida e líquida do solo.

b) Fluxo de massa: consiste no movimento do íon em uma fase aquosa móvel.

c) Difusão: definido como o caminhar do íon em uma fase estacionária, indo de uma região de maior concentração para outra de menor concentração na superfície da raiz (distância curtas).

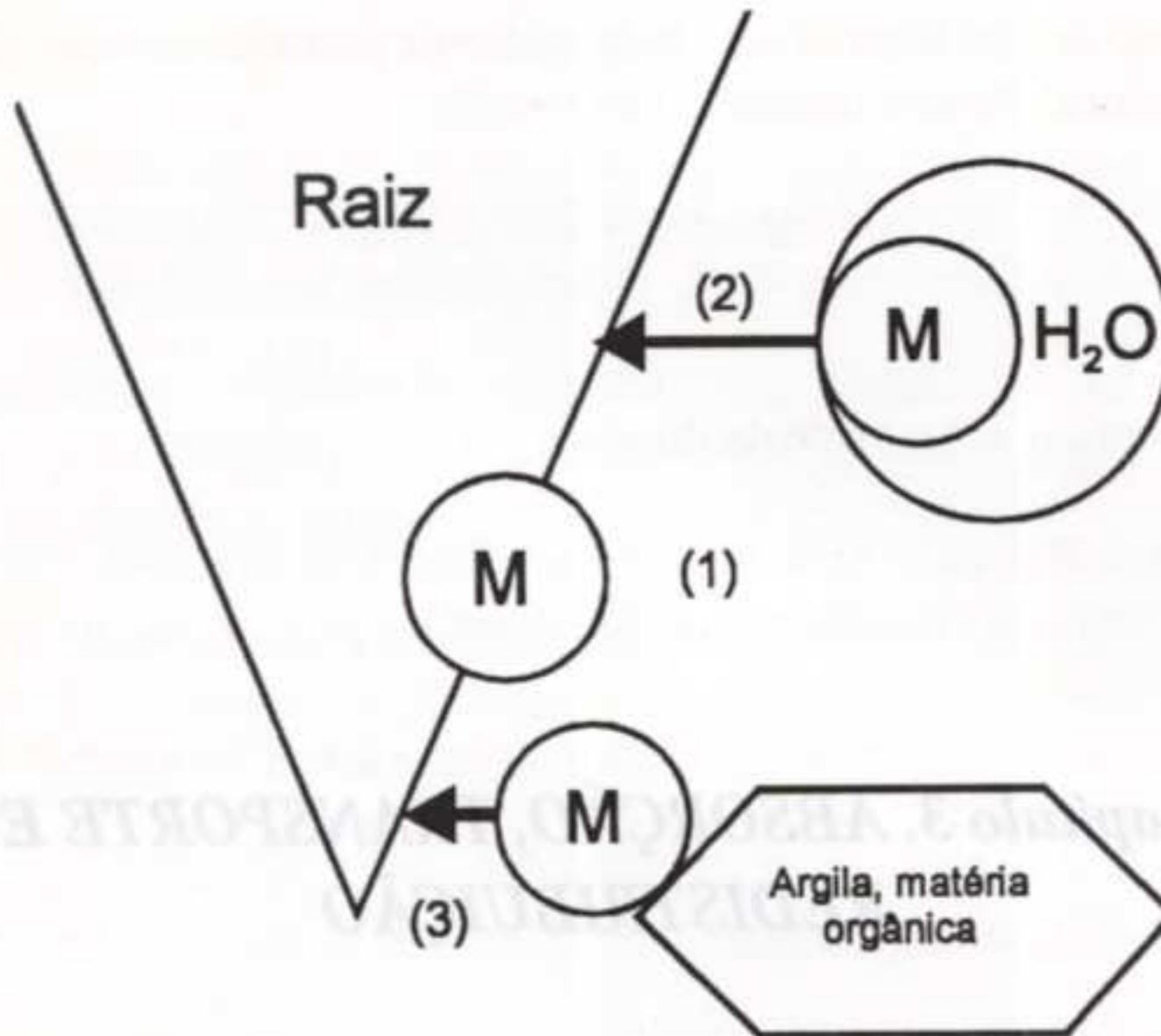


Figura 3-1. Os elementos entram em contato com a raiz por interceptação radicular (1), fluxo de massa (2) e difusão (3).

Tabela 3-1. Contribuição da interceptação radicular, do fluxo de massa e da difusão no fornecimento de nutrientes para as raízes do milho num barro limoso.

Íon	Absorção ¹	Quantidade disponível (0-20 cm)	Extrato de saturação	Quantidade fornecida por		
				Intercepção	Fluxo de massa	Difusão
	----- (kg/ha) -----		(ppm)	----- (kg/ha) -----		
N (NO ₃ ⁻)	170	-	-	2	168	0
P (H ₂ PO ₄ ⁻)	39	45	0,5	0,9	1,8	36,3
K (K ⁺)	135	190	10	3,8	35	92,2
Ca (Ca ²⁺)	23	3.300	50	66	175	0
Mg (Mg ²⁺)	28	800	30	16	105	0
S (SO ₄ ²⁻)	20	-	-	1	19	0
Na (Na ⁺)	16	80	5	1,6	18	0
B (H ₃ BO ₃)	0,07	1	0,20	0,02	0,70	0
Cu (Cu ²⁺)	0,16	0,6	0,10	0,01	0,35	0
Fe (Fe ²⁺)	0,80	6	0,15	0,1	0,53	0,17
Mn (Mn ²⁺)	0,23	6	0,015	0,1	0,05	0,08
Mo (HMoO ₄ ⁻)	0,01	-	-	0,001	0,02	0
Zn (Zn ²⁺)	0,23	6	0,15	0,1	0,53	0

¹ Colheita total: parte aérea = 15.680 kg/ha; grãos = 9.470 kg/ha.

Fonte: BARBER (1966).

Tabela 3-2. Relação entre o processo de contato e a localização de adubos.

Elemento	Processo de contato			Aplicação de adubos
	Intercepção	Fluxo de massa	Difusão	
	----- (% do total) -----			
N	1	99	0	Distante, em cobertura (parte)
P	2	4	94	Próximo das raízes
K	3	25	72	Próximo das raízes, em cobertura (parte)
Ca	287	760	0	A lança
Mg	57	375	0	A lança
S	5	95	0	Distante, em cobertura (parte)
B	29	1.000	0	Distante, em cobertura (parte)
Cu	70	20	10	A lança, localizado
Fe	50	10	40	A lança, localizado
Mn	15	5	80	Próximo das raízes
Mo	10	200	0	A lança
Zn	20	20	60	Próximo das raízes

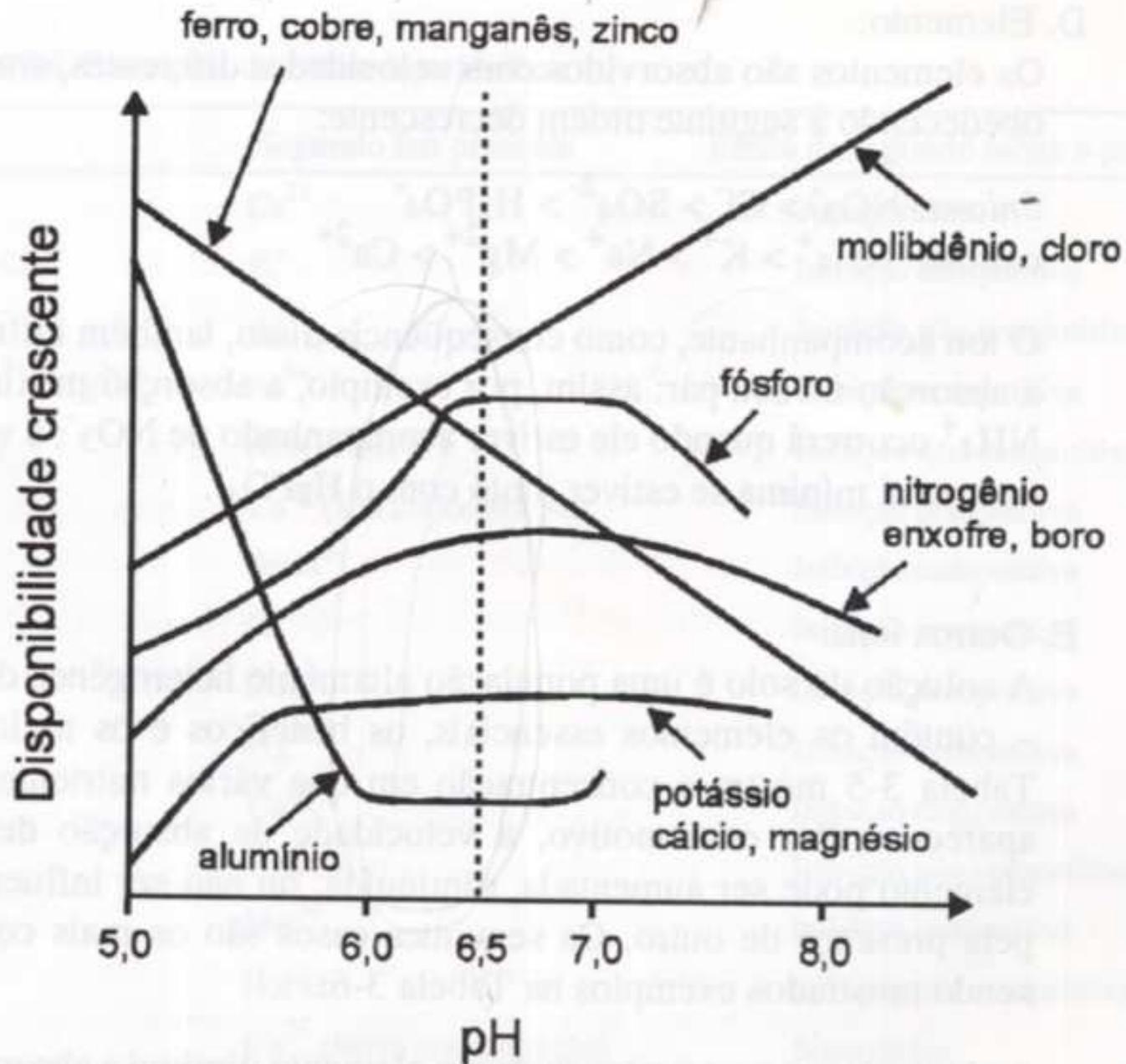


Figura 3-10. Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo.



Quantidade de nutrientes extraídos pela produção

Cultura	Parte	Quantidade	N	P	K	Ca	Mg	S
		t	----- kg -----					
Milho	Grãos	5	67	12	15	1	4	5
	Colmo, folhas	4,5	50	9	55	13	10	7
Pastagens	Gramíneas	1 (m.s.)	17	2	21	5	3	1
	Leguminosas	1 (m.s.)	32	3	21	13	4	2
Soja	Caule, ramos e folhas	5,6 (m.s.)	29	2	34	43	20	2
	Grãos	2,4	152	11	43	8	6	4
Trigo	Grãos	3	50	11	12	1	6	3
	Palha	3,7	20	9	27	6	3	5

Quantidade de nutrientes extraídos pela produção

Cultura	Parte	Quantidade	g								
			B	Cl	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Na
<i>Essências florestais</i>											
Eucalipto	Caule	355 m ³	1.326	-	-	807	3.929	18.202	10	388	-
<i>Pinus oocarpa</i>	Acícula	6	-	-	-	-	1.400	1.300	-	100	-
	Ramos	10	-	-	-	-	700	1.000	-	100	-
	Fuste	86	-	-	-	-	2.800	4.400	-	600	-
<i>Hortaliças</i>											
Alface	Folhas	55.000 plantas	88	-	-	17	581	216	-	312	-
Tomate	Frutos	50	140	-	-	70	-	130	-	160	-
Laranja	Frutos	1	2	25	0,003	1	7	3	0,008	0,9	43
Milho	Grãos	9	40	4.000	-	20	100	50	5	170	-
	Restos	6,5	120	68.000	-	50	180	250	3	170	-
Pastagens	Gramíneas	1	17	3.305	0,07	6	154	142	0,43	26	326
	Leguminosas	1	44	1.861	0,28	9	288	157	0,33	30	187
Soja	Caules, ramos e folhas	5,6	131	629	-	30	840	210	2	43	-
	Grãos	2,4	58	568	-	34	275	102	11	102	-
Trigo	Grãos	3	400	-	-	30	-	90	-	40	-
	Palha	3,7	-	-	-	10	-	160	-	50	-



ACIDEZ E CALAGEM



Introdução

1ª providência para o cultivo: correção da acidez

Melhor investimento → culturas respondem com produção

Componentes da Acidez

Ácidos fortes: dissociam-se completamente.

Ácidos fracos: dissociam-se muito pouco (ocorre no solo)

Solo: concentrações muito baixas de íons H na solução;

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) \text{ ou } \text{pH} = \log(1/\text{H}^+)$$



ACIDEZ E CALAGEM

Componentes da Acidez

Solos: pH pode variar de 3 – 9, mais comum faixa intermediária.

Acidez ativa: é a fração do H do solo que está dissociada na forma de H^+ e é medida pelo índice pH.

Acidez Potencial: é a parte do H^+ não dissociada mais o Al ($H + Al$).

Solos muito ácidos ocorre dissolução de Al:





Origem da acidez dos solos

- a) Material de origem pobre em bases;
- b) Lixiviação de bases;
- c) Erosão
- d) Extração de bases pelas plantas;
- e) Dissociação do gás carbônico;



- f) Adubação nitrogenada





Neutralização da acidez do solo



Para ocorrer a neutralização é necessário a presença de receptores de prótons, no caso OH^- e HCO_3^-

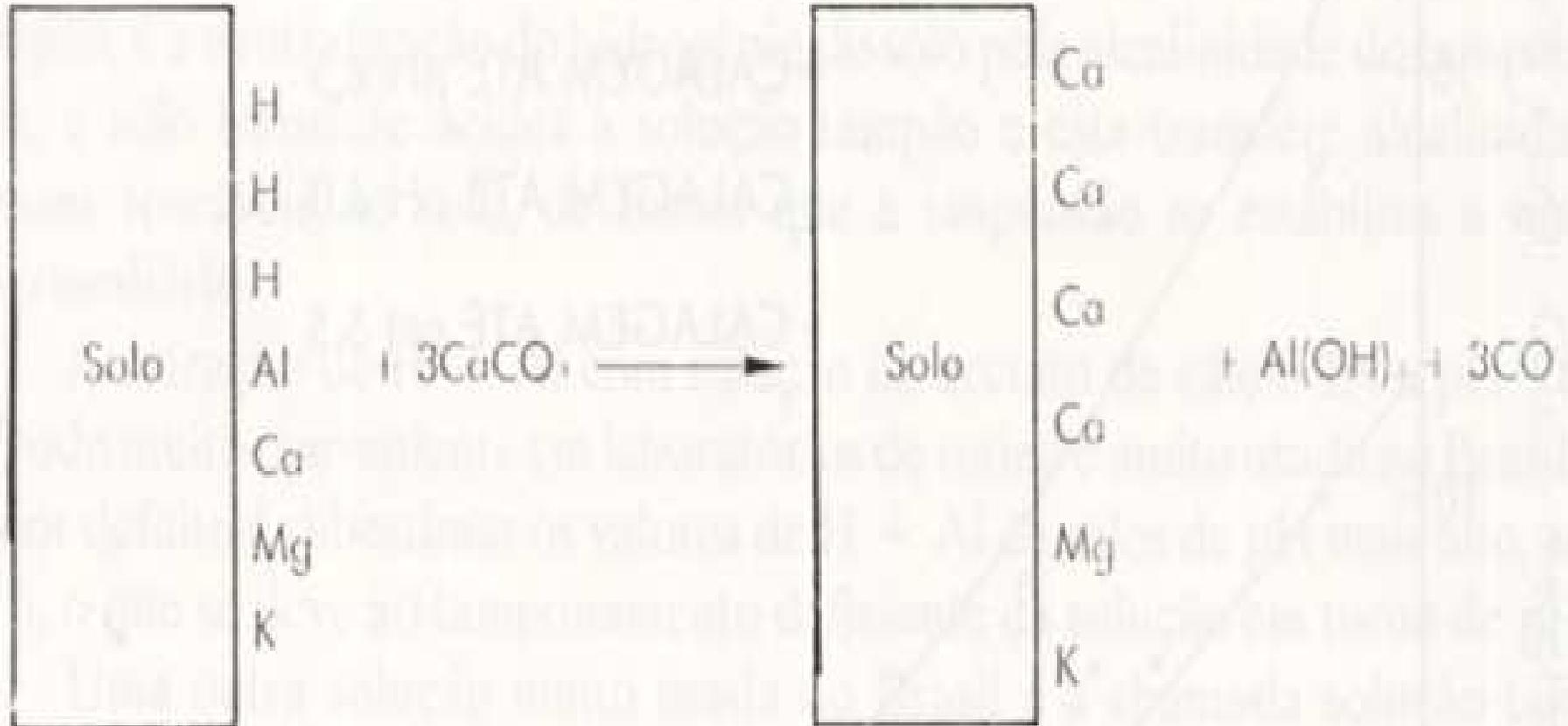


Figura 8.3. Representação de neutralização da acidez do solo com carbonato de cálcio.



Velocidade de reação do calcário depende de:

- a) Grau de acidez do solo;
- b) Granulometria do corretivo;
- c) Grau de intimidade da mistura do calcário com o solo.

Poder tampão: é a resistência que solos apresentam na variação de pH pela adição de pequenas quantidades bases.



Poder tampão

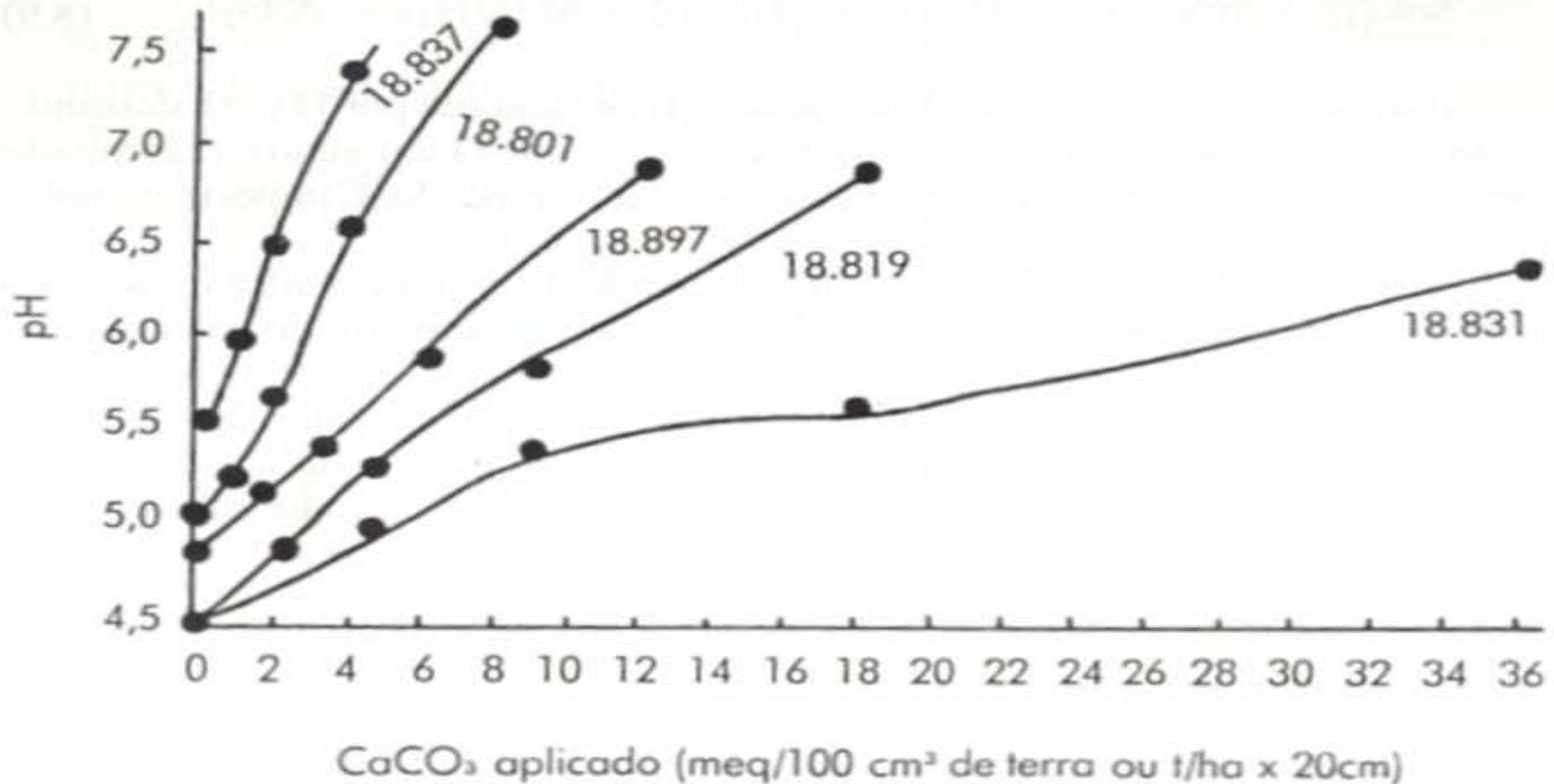


Figura 8.1. Curvas de neutralização de cinco amostras de solos com CaCO₃: 18.837 - regossolo; 18.801 - latossolo vermelho-amarelo, fase arenosa; 18.897 - latossolo vermelho-amarelo húmico; 18.819 - latossolo vermelho-escuro orto; 18.831 - solo com horizonte B câmbico (Raij et al., 1979).



Cátions trocáveis e capacidade de troca

CTC: é a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso ou volume; valor relativamente constante para cada solo.

Calagem: altera a proporção relativa dos cátions que ocupam a CTC.

Determinação da CTC:

Direta: com solução tamponada de sal de NH_4^+ , Ca ou Ba

Indireta: somatório de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+}

Troca de cátions – processo reversível – ligação eletrostática

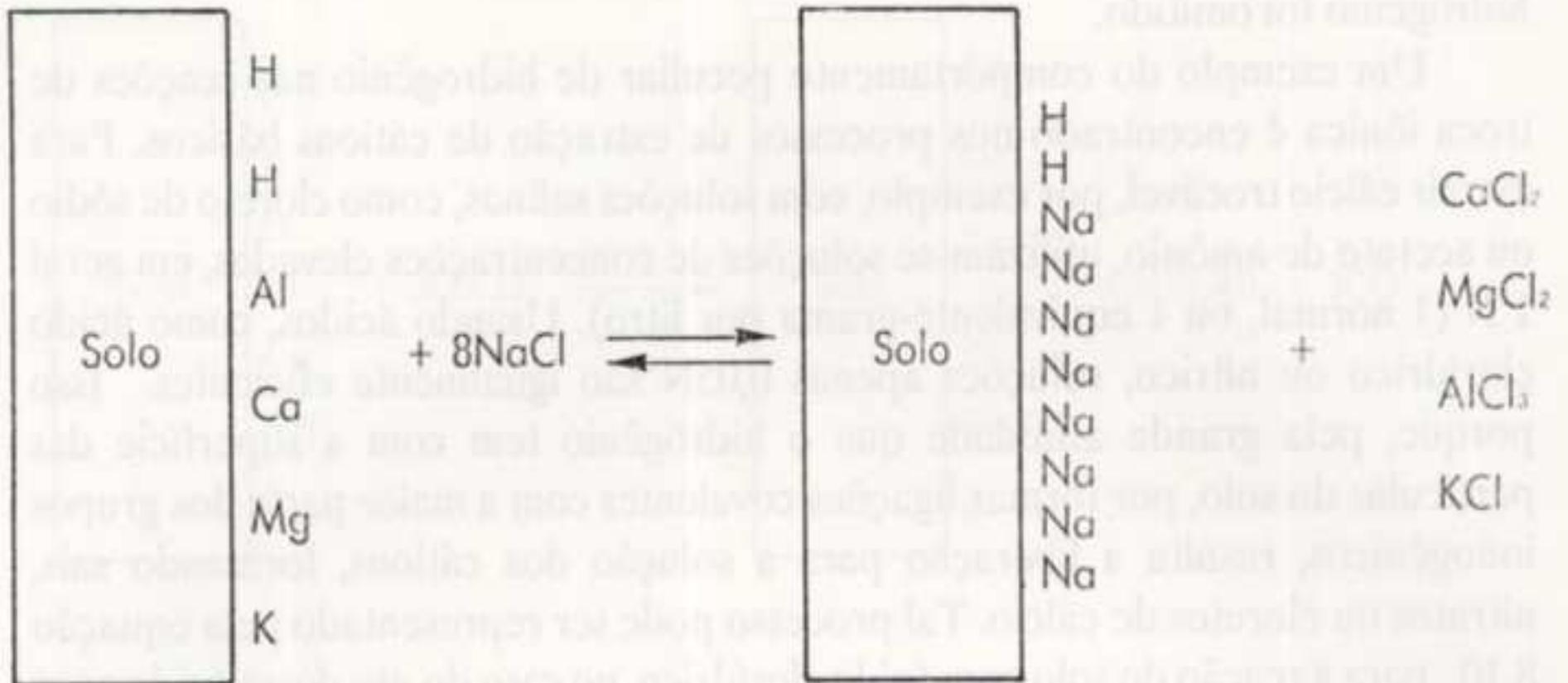


Figura 8.2. Representação esquemática da troca de cátions de uma solução de cloreto de sódio com os cátions trocáveis do solo.



Saturação por alumínio $m = (100 \cdot AI) / (SB + AI)$

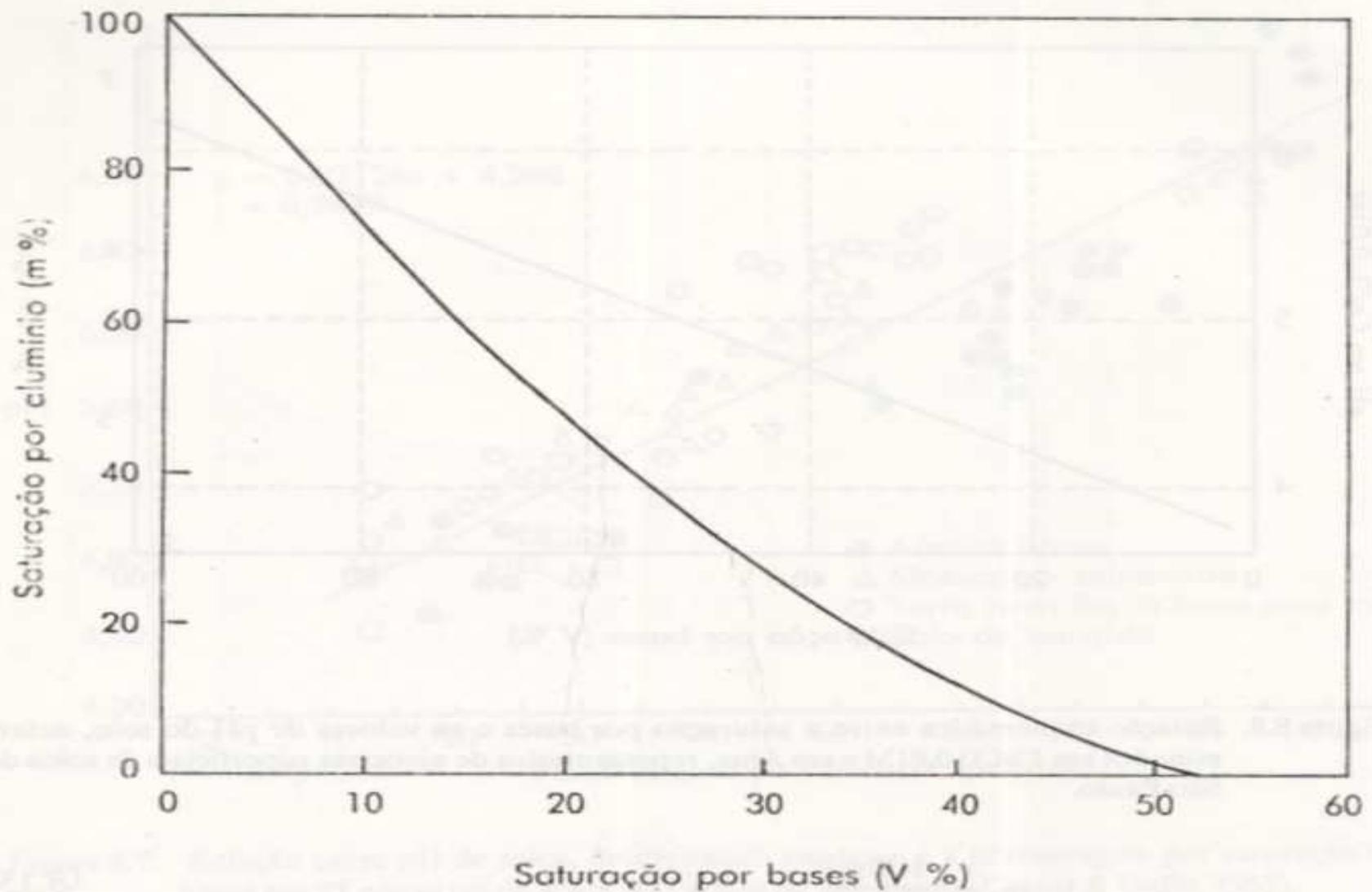


Figura 8.9. Relação esquemática entre a saturação por bases e saturação por alumínio, representativa de amostras superficiais de solos de São Paulo.



Cálculo da necessidade de Calagem

a) Método baseado nos teores de Al trocável e de Ca e Mg;

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Y [Al^{3+} - (mt - t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

Y: valor tabelado em função do poder tampão;

mt: saturação por Al^{3+} ;

t: CTCe;

X: teor mínimo de Ca + Mg, tabelado.



b) Método do tampão SMP;



Tabela 8.1. Tabela para a determinação da necessidade de calagem para três valores de pII de solo em água e de II + Al, com base no pII da suspensão de solo na solução tampão SM.

p H S M P	Necessidade de calagem para pII						II + Al (S P)
	6,5 (S P)	6,0 (S P)	5,5 (S P)	6,5 (R S)	6,0 (R S)	5,5 (R S)	
	————— CaCO ₃ .meq/100cm ³ ou i/ha x20cm —————						.meq/100cm ³
6,9	0,4						1,6
6,8	0,8						1,8
6,7	1,2	0,3					2,0
6,6	1,5	0,5					2,2
6,5	2,0	0,7	0,1	0,7	0,2		2,5
6,4	2,3	0,9	0,2	1,5	0,6		2,8
6,3	2,8	1,1	0,3	2,1	1,2	0,2	3,1
6,2	3,3	1,4	0,5	2,7	1,7	0,6	3,4
6,1	3,8	1,8	0,7	3,4	2,2	1,0	3,8
6,0	4,5	2,2	0,9	4,1	2,8	1,4	4,2
5,9	5,2	2,7	1,1	4,8	3,3	1,9	4,7
5,8	6,1	3,2	1,4	5,5	3,9	2,3	5,2
5,7	6,9	3,8	1,7	6,2	4,5	2,8	5,8
5,6	7,9	4,4	2,0	7,0	5,1	3,3	6,4
5,5	8,9	5,1	2,4	7,9	5,8	3,8	7,2
5,4	10,1	5,8	2,8	8,7	6,5	4,4	8,0
5,3	11,2	6,7	3,2	9,6	7,2	4,9	8,8
5,2	12,5	7,6	3,7	10,6	8,0	5,5	9,8
5,1	13,8	8,5	4,4	11,7	8,8	6,2	10,9
5,0	15,3	9,5	5,0	12,9	9,7	6,9	12,1
4,9	16,7	10,5	5,5	14,2	10,7	7,7	13,5
4,8	18,3	11,6	6,1	15,7	11,9	8,5	15,0

Fontes: Raij ct al. (1979). Quaggio ct al. (1985a). Siqueira et al. (1987).



c) Método baseado na elevação da saturação por bases;

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (V2 - V1) / 10 \times 100] \times CTC \times f$$

V2: saturação por base desejada;

V1: saturação por base inicial;

CTC: $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$;

f: fator de correção em função da incorporação do calcário

0 – 20 cm: $f=1$

0-30 cm: $f=1,5$

0-40 cm: $f=2$

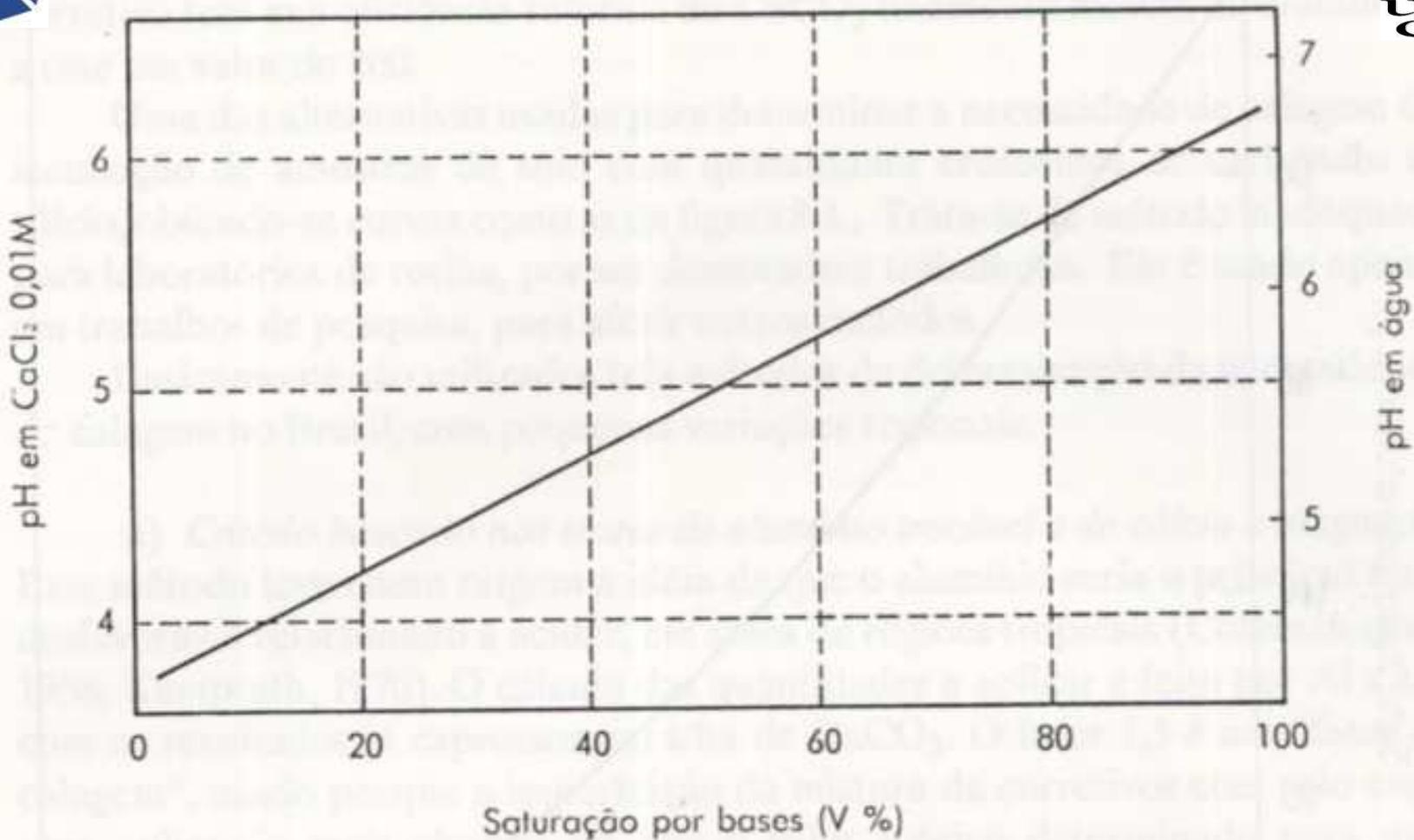


Figura 8.8. Relação esquemática entre a saturação por bases e os valores de pH do solo, determinados em CaCl₂ 0,01M e em água, representativa de amostras superficiais de solos de São Paulo.

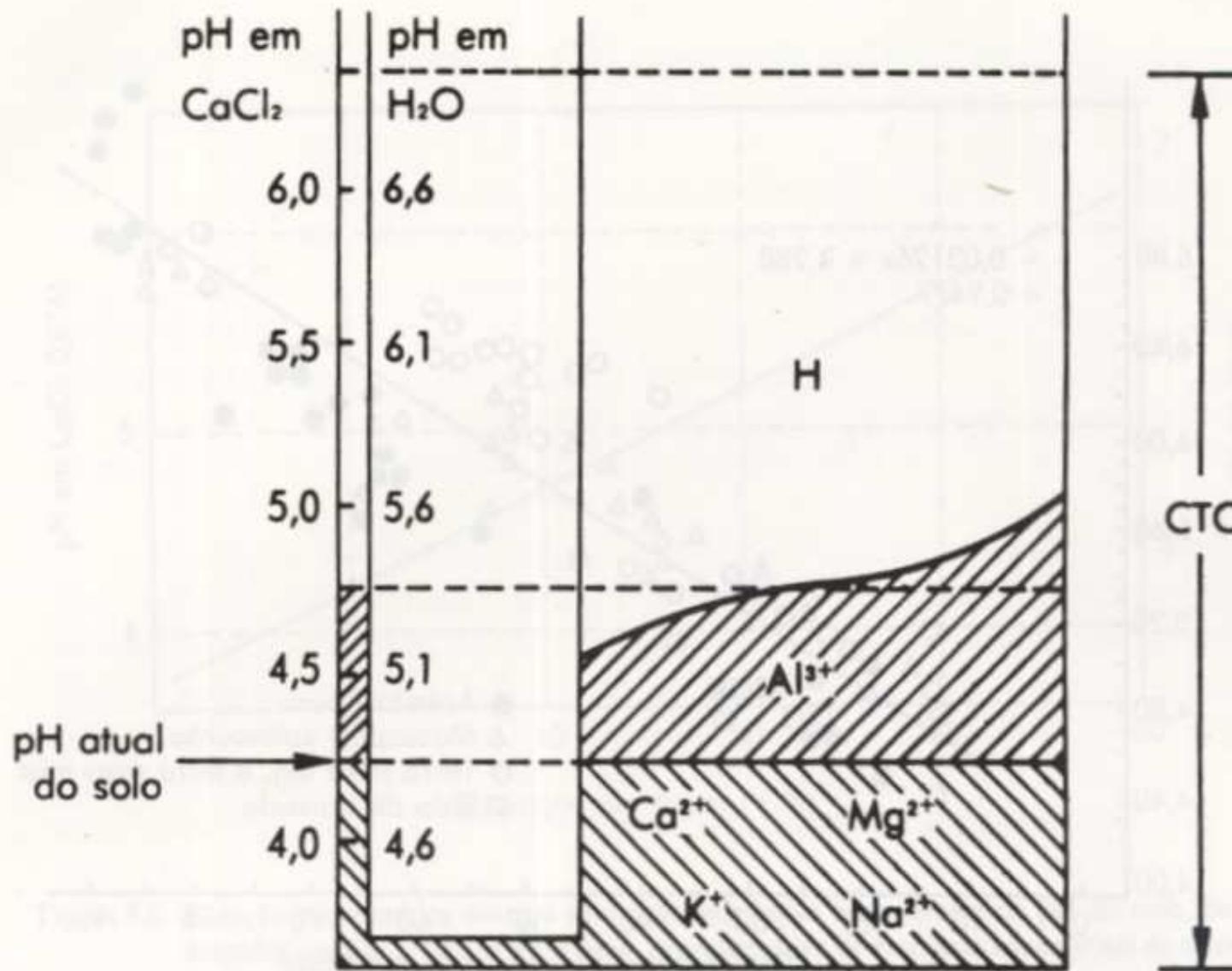


Figura 8.6. Representação esquemática da capacidade de troca de cátions como um reservatório ligado à escala de pH, que indica o nível já atingido pelas bases do solo. Se a acidez do solo for neutralizada, o nível das bases trocáveis sobe.

Tabela 1 - Saturações de cálcio e alumínio no solo associadas com 90% da produção máxima de ecótipos de gramíneas forrageiras

Espécie / Ecótipo CIAT		%	
		Ca	Al
<i>Panicum maximum</i>	604	24	72
<i>Pennisetum purpureum</i>	604	20	74
<i>Andropogon gayanus</i>	604	29	60
<i>Brachiaria decumbens</i>	606	12	86
<i>Brachiaria decumbens</i>	659	13	85
<i>Brachiaria humidicola</i>	6013	17	77
<i>Melinis minutiflora</i>	608	9	89
<i>Hyparrhenia rufa</i>		8	80

Fonte: Adaptado de CIAT, 1981.

Tabela 2 - Quantidade de cálcio absorvido e eficiência de absorção e de uso na produção da parte aérea por gramíneas tropicais forrageiras cultivadas em Latossolo argiloso com baixa capacidade de suprimento de nutrientes

Gramíneas Forrageiras	Absorção mg/ vaso	Eficiência de	
		Absorção mg Ca /g MS raiz	Utilização g MS/g raiz
<i>Andropogon gayanus</i>	19,9	2,8	179
<i>Brachiaria brizantha</i>	25,7	3,0	853
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	17,0	1,5	308
<i>Brachiaria humidicola</i>	15,0	1,7	306
<i>Brachiaria decumbens</i>	28,2	4,3	296
<i>Panicum maximum</i>	23,8	3,4	237
<i>Hyparrhenia rufa</i>	22,1	3,0	180
Media	21,7	2,8	337
Desvio-padrão	4,7	0,9	337
Coeficiente de Variação (%)	22	34	60

Fonte: Adaptado de RAO et al., 1995.



Tabela 3 - Valores de percentagem de saturação por Al (m_t) e teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (X) críticos para o cálculo da necessidade de calagem pelo critério da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ e valores de saturação por base adequados (V_f) para o critério da elevação da saturação por base, para algumas forrageiras tropicais

Forrageira	X	m_t	$V_f^{(1)}$
	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$		%
Melinis minutiflora	1	30	40 (40)
Paspalum notatum	1	30	40 (40)
Brachiaria humidicola	1	30	40 (40)
Brachiaria decumbens	1	30	40 (40)
Setaria anceps	1	30	40 (40)
Andropogon gayanus	1	30	60 (50)
Brachiaria brizantha cv. Marandu	1,5	25	60 (50)
Panicum maximum (Green panic, Mombaça)	1,5	25	60 (50)
Cynodon plectostachyus (Estrelas)	1,5	25	60 (50)
Panicum maximum (Colonião, Tobiata, Tanzânia, Vencedor)	2	20	70 (60)
Pennisetum purpureum (Cameron, Napier)	2	20	70 (60)
Cynodon (Coast-cros, Tiftons)	2	20	70 (60)
Digitaria decumbens (Pangola, Transvala)	2	20	70 (60)

⁽¹⁾ Valores entre parêntese referem-se à fase de manutenção da pastagem.
Fonte: Adaptado de WERNER et al. (1997) e CANTARUTTI et al. (1999).



Tabela 10. Saturação por bases (V%) recomendadas para agrupamentos de forrageiras para o Estado de São Paulo.

Forrageira	Saturação por bases		Dose máxima a aplicar	
	Formação	Manutenção	Formação	Manutenção
	V%		t/ha	
Gramíneas do Grupo I	70	60	7	3
Gramíneas do Grupo II	60	50	6	3
Gramíneas do Grupo III	40	40	5	3
Leguminosas do Grupo I	70	60	7	3
Leguminosas do Grupo II	50	40	5	3
Capineiras	70	60	7	3
Gramíneas para fenação	70	60	7	3
Pasto consorciado do Grupo I	70	60	7	3
Pasto consorciado do Grupo II	50	40	5	3
Leguminosa para uso intensivo	80	80	10	5

Fonte Werner et al. (1997)



Tabela 11. Grau de adaptação de leguminosas forrageiras às condições de fertilidade e saturação por bases adequada para solos de cerrado.

Espécies	Grau de adaptação à baixa fertilidade	Saturação por bases (%)
Pouco Exigentes		
<i>Stylosanthes guianenses</i>		30 a 35
cv. Mineirão	alto	30 a 35
cv. Bandeirante	alto	30 a 35
<i>Stylosanthes macrocephala</i> cv. <i>Pioneiro</i>	alto	30 a 35
<i>Calopogonium mucunides</i>	alto	30 a 35
<i>Pueraria phaseoloides</i>	alto	30 a 35
Amendoim forrageiro (<i>Arachis pintoi</i>) cv. Amarelo	médio a alto	30 a 35
Exigentes		
<i>Leucena</i> (<i>Leucaena leucocephala</i>)	muito baixo	45 a 50
Soja Perene (<i>Neonotonia wightii</i>)	baixo	45 a 50
Fonte: Vilela et al. (1998).		

Tabela 12. Grau de adaptação de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade e saturação por bases adequada para solos de cerrado.

Espécies	Grau de adaptação à baixa fertilidade	Saturação por bases (%)
Pouco Exigentes		
<i>Andropogon gayanus</i>	alto	30 a 35
<i>Brachiana decumbens</i>	alto	30 a 35
<i>Brachiana humidicola</i>	alto	30 a 35
<i>Brachiana ruziziensis</i>	médio	30 a 35
Exigentes		
<i>Hyparrhenia rufa</i> Capim-Jaraguá	baixo a médio	40 a 45
<i>Brachiana brizanta</i> cv. Marandu	baixo	40 a 45
<i>Setaria anceps</i>	baixo	40 a 45
<i>Panicum maximum</i>		40 a 45
cv. Vencedor	baixo	40 a 45
cv. Centenário	baixo	40 a 45
cv. Colônia cv. Tanzânia - 1	muito baixo	40 a 45
cv. Tobiata	muito baixo	40 a 45
cv. Mombaça	muito baixo	40 a 45
Muito Exigentes		
<i>Pennisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	muito baixo	50 a 60
Coast-Cross, Tifton	muito baixo	50 a 60

Fonte: Vilela et al. (1998).



GESSAGEM



* Com a aplicação de gesso agrícola no solo, no qual a acidez da camada arável foi corrigida com calcário, o sulfato, após sua dissolução, movimenta-se para camadas inferiores acompanhado por cátions, especialmente o cálcio;

* Com a movimentação de cátions para a subsuperfície, os teores de cálcio e de magnésio aumentam, acarretando redução no teor de alumínio tóxico e melhorando o ambiente do solo para as raízes desenvolverem;

* Esses efeitos já podem ser observados no ano agrícola de aplicação do gesso.

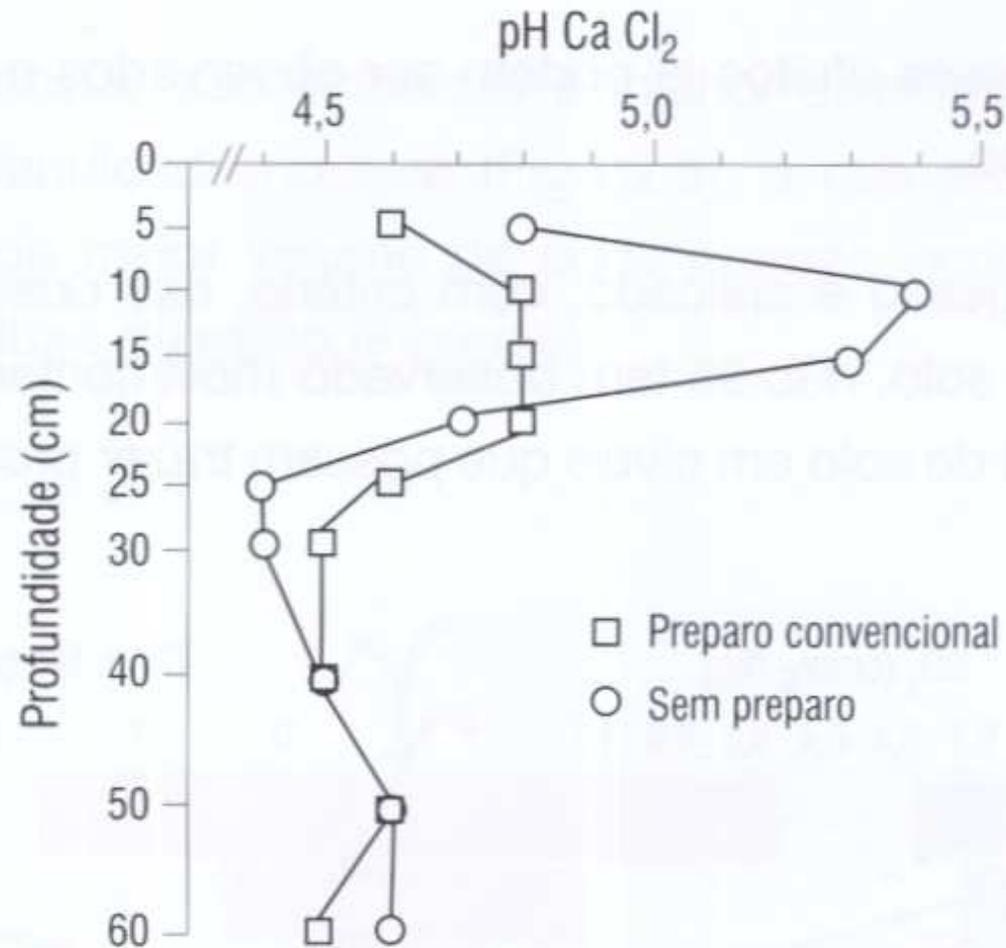


Figura 3. pH de um latossolo muito argiloso em diferentes profundidades, após seis anos de aplicação do calcário em dois sistemas de preparo do solo.

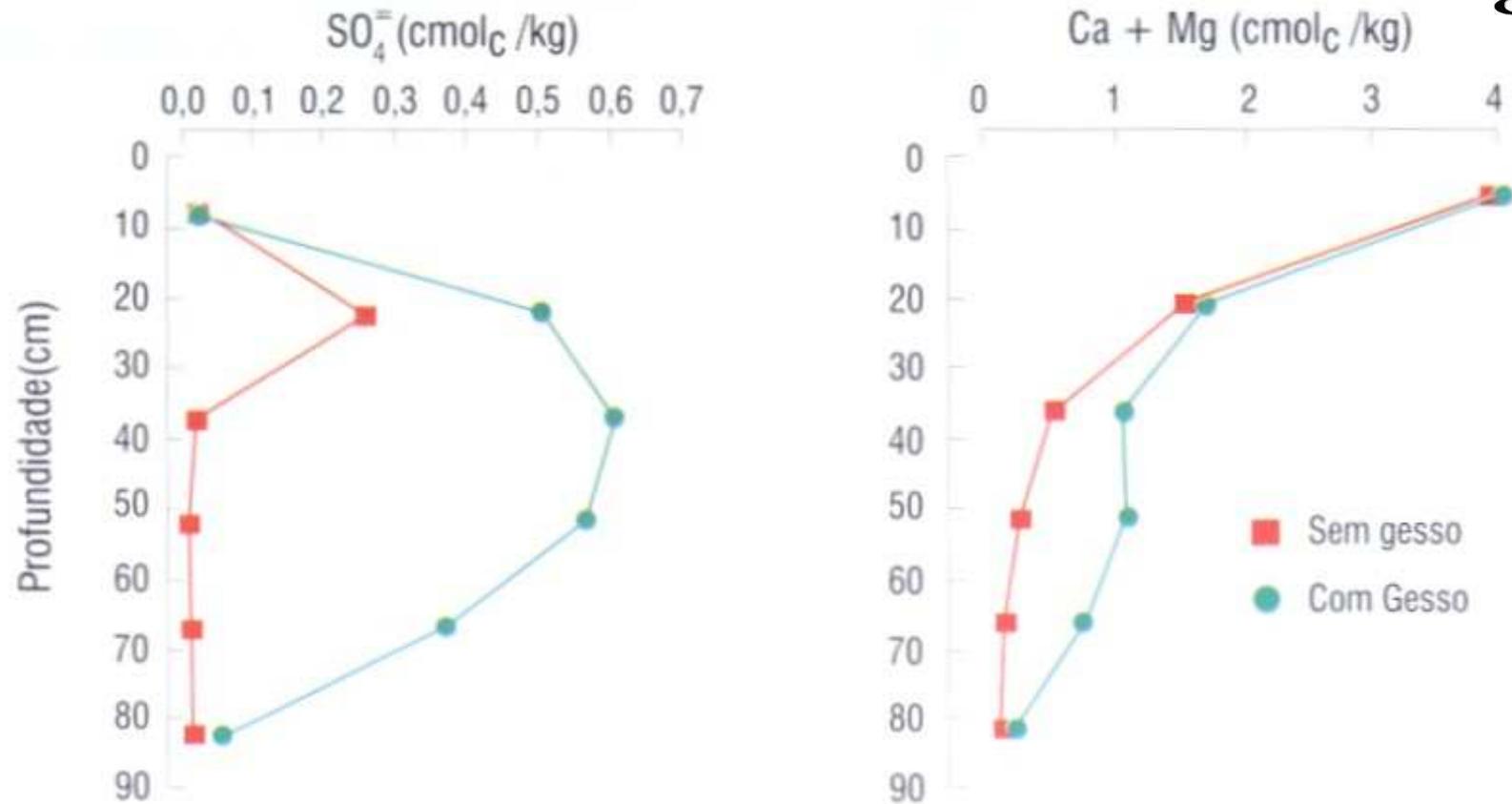


Figura 4. Distribuição do sulfato (SO_4) e do cálcio mais magnésio ($Ca + Mg$) trocáveis em diferentes profundidades de um latossolo argiloso, sem aplicação e com aplicação de gesso, após um período de 39 meses.

Fonte: Sousa et al. (1995).



Tabela 1. Efeito da aplicação do gesso agrícola ao solo, na produtividade de culturas anuais, submetidas a veranicos na época da floração.

Gesso	Milho	Trigo	Soja
	----- t/ha -----		
Sem	3,2	2,2	2,1
Com	5,5	3,5	2,4

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

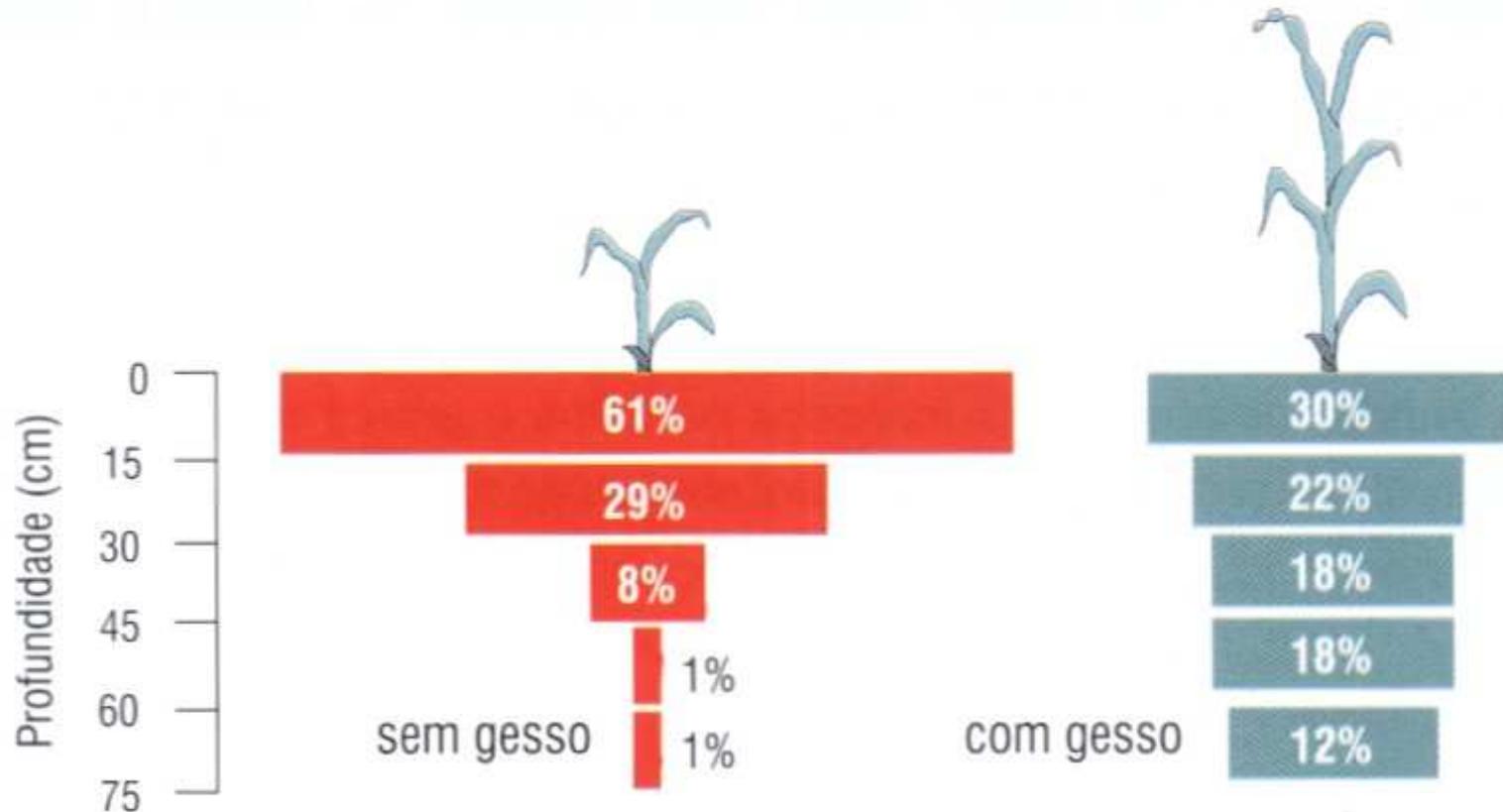


Figura 5. Distribuição relativa de raízes de milho no perfil de um latossolo argiloso, sem aplicação e com aplicação de gesso.

Fonte: Sousa et al. (1995).

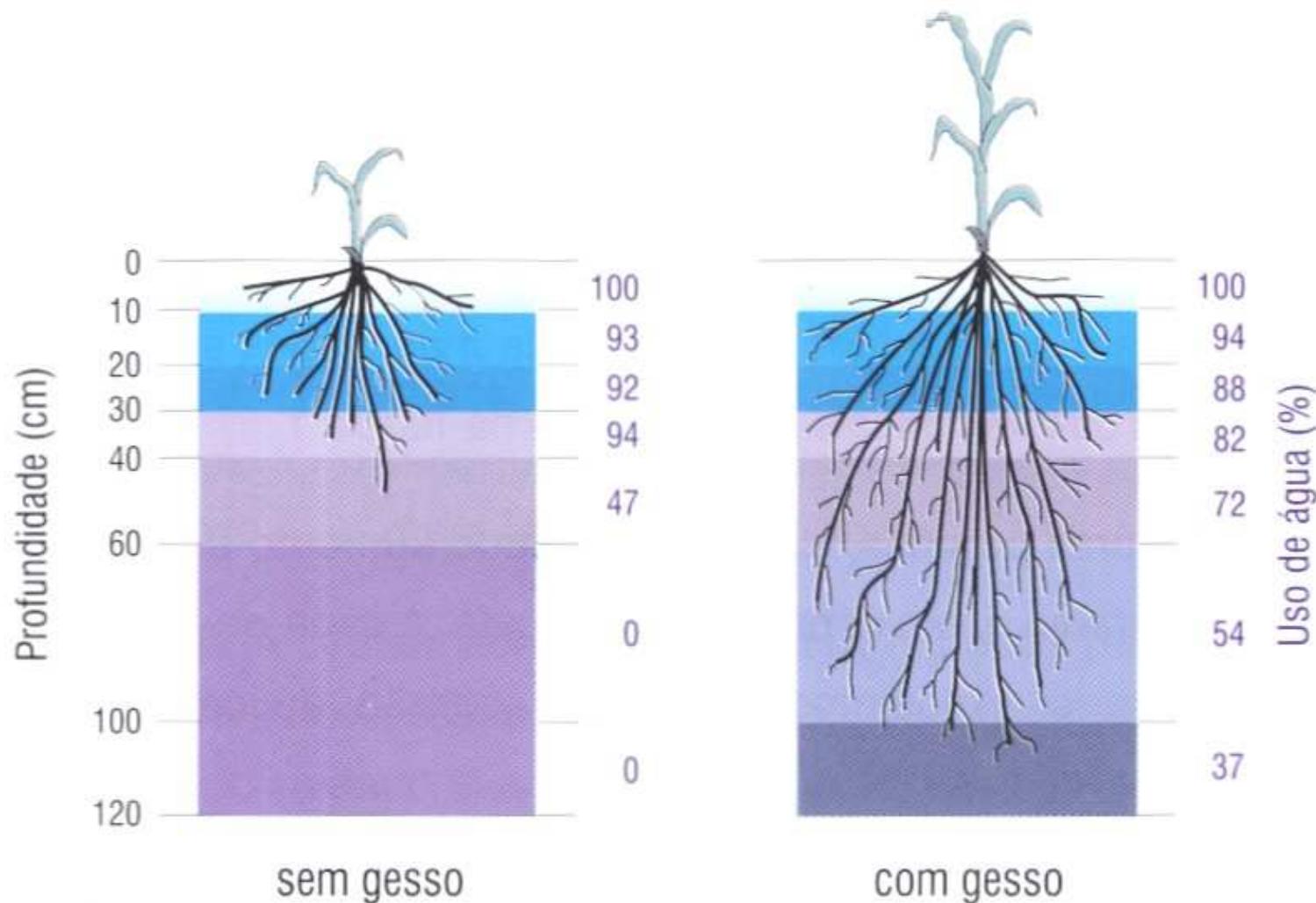


Figura 6. Utilização relativa da lâmina de água disponível no perfil de um latossolo argiloso, pela cultura do milho, após um veranico de 25 dias, por ocasião do lançamento de espigas, em parcelas sem aplicação e com aplicação de gesso.

Fonte: Sousa et al. (1995).



Recomendação de gessagem:

a) Estado de São Paulo:

Prof. 20 – 40 cm - Teor de Ca menor $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e/ou saturação por Al acima de 40 %.

$$\text{NG (kg/ha)} = 6 \times \text{argila (g/kg)}$$

NG: Necessidade de gesso

b) Cerrados:

Prof. 20 – 40 cm - Teor de Ca menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou saturação de Al maior que 20 %.

$$\text{Culturas anuais: NG (kg/ha)} = 50 \times \text{argila (\%)}$$

$$\text{Culturas perenes: NG (kg/ha)} = 75 \times \text{argila (\%)}$$

c) Pela saturação por base (Vitti et al., 2006)

- $t/\text{ha (gesso)} = (V2 - V1) * T / 500$
- $V2 =$ saturação por base esperada (50%);
- $V1 =$ saturação por base atual do solo na camada de 20-40 cm;
- $T =$ CTC na camada de 20 40 cm ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$);
- Obs.: Se o valor T for expresso em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, dividir o valor da equação por 50.



Tabela 4. Recomendação de gesso agrícola (15% de S) em função da classificação textural do solo para culturas anuais e perenes.

Textura do solo	Dose de gesso agrícola	
	Culturas anuais	Culturas perenes
	----- kg/ha -----	
Arenosa	700	1050
Média	1200	1800
Argilosa	2200	3300
Muito argilosa	3200	4800

Fonte: Sousa et al. (1995).



NITROGÊNIO



Introdução

- Nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas;
- Elemento de maior consumo mundial em fertilizantes;



Figura 1. Principais componentes e interações da eficiência bioeconômica da adubação nitrogenada de pastagens.



Mecanismos de transferência de N (atmosfera – solo)

1) Descargas elétricas na atmosfera: transforma o N elementar em óxidos, as quais são convertidos em ácido nítrico, que acaba no solo com a H₂O da chuva;

2) Fixação via microrganismos do solo: fixação de N₂ é transformado em NH₄⁺ que é incorporado ao metabolismo do organismo fixador, e aprisionado nas cadeias dos compostos orgânicos;

Microrganismos de vida livre: *Azotobacter* e *Beijerinckia*

Fixação simbiótica: gênero *Rhizobium*



Mecanismos de transferência de N (atmosfera – solo)

3) Adubos minerais: N atmosférico fixado por processos químicos. Em condições aeróbicas, o N mineral do solo origina-se: da matéria orgânica e fertilizantes minerais ou orgânicos adicionados ao solo.



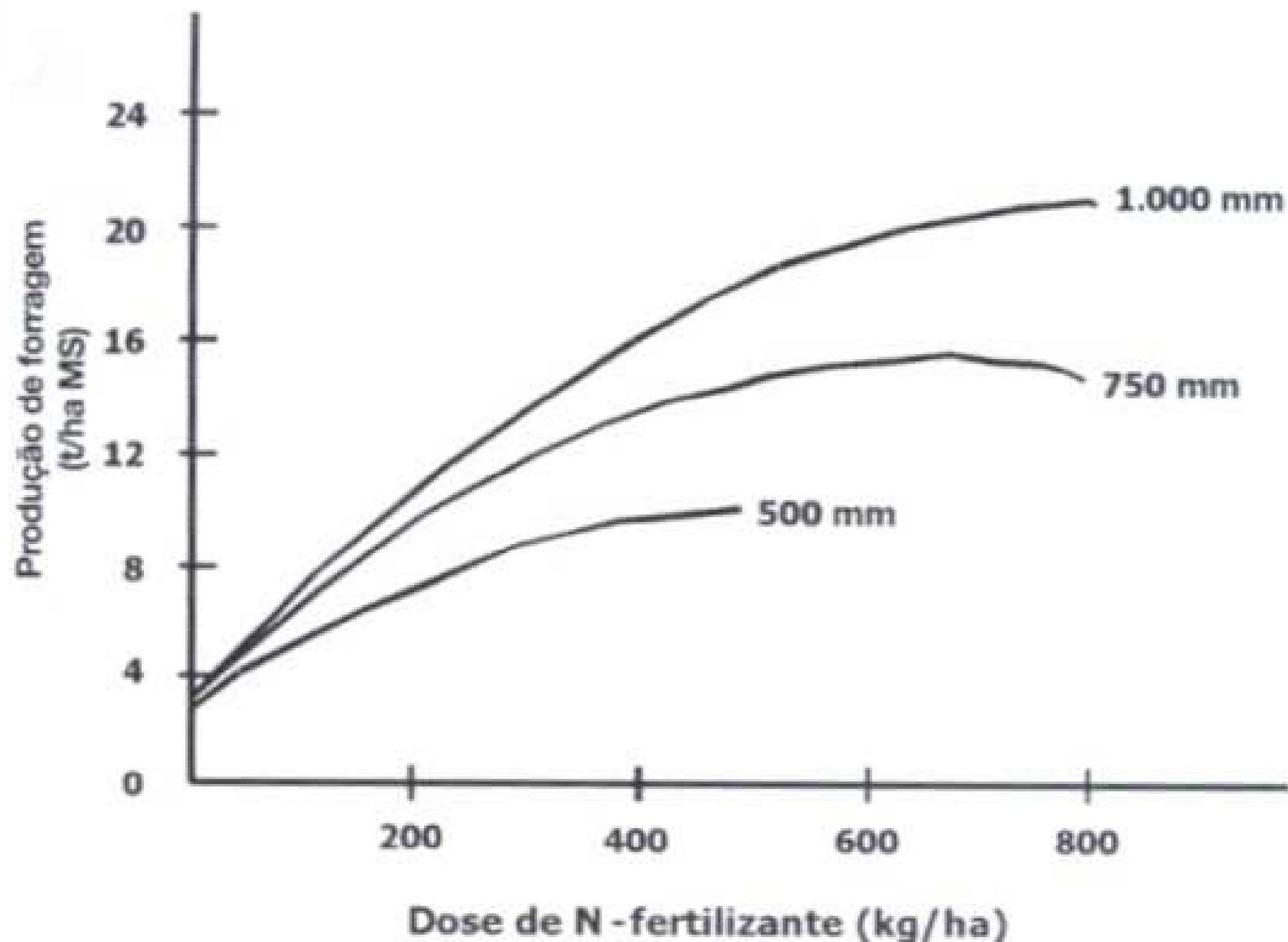


Figura 8. Produção de forragem em resposta à adubação nitrogenada e à quantidade de chuvas durante a estação de crescimento em condições subtropicais.
Fonte: diversos autores, adaptado por Teitzel et al. (1991).

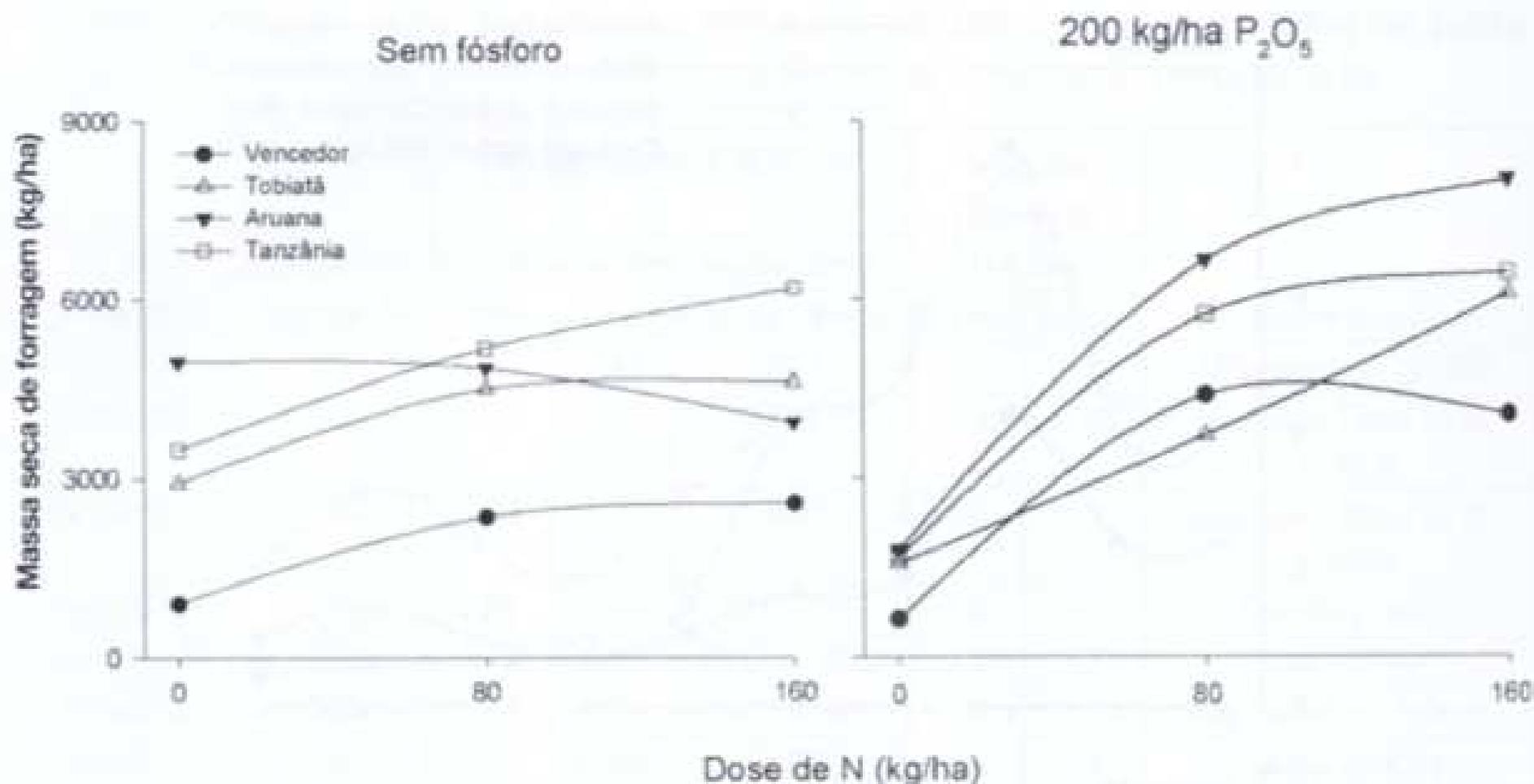


Figura 4. Produção de forragem de quatro cultivares de *Panicum maximum* em resposta a adubações com nitrogênio e com fósforo, em podzólico vermelho-amarelo distrófico, 80 dias depois da adubação. Fonte: Schunke (1998).

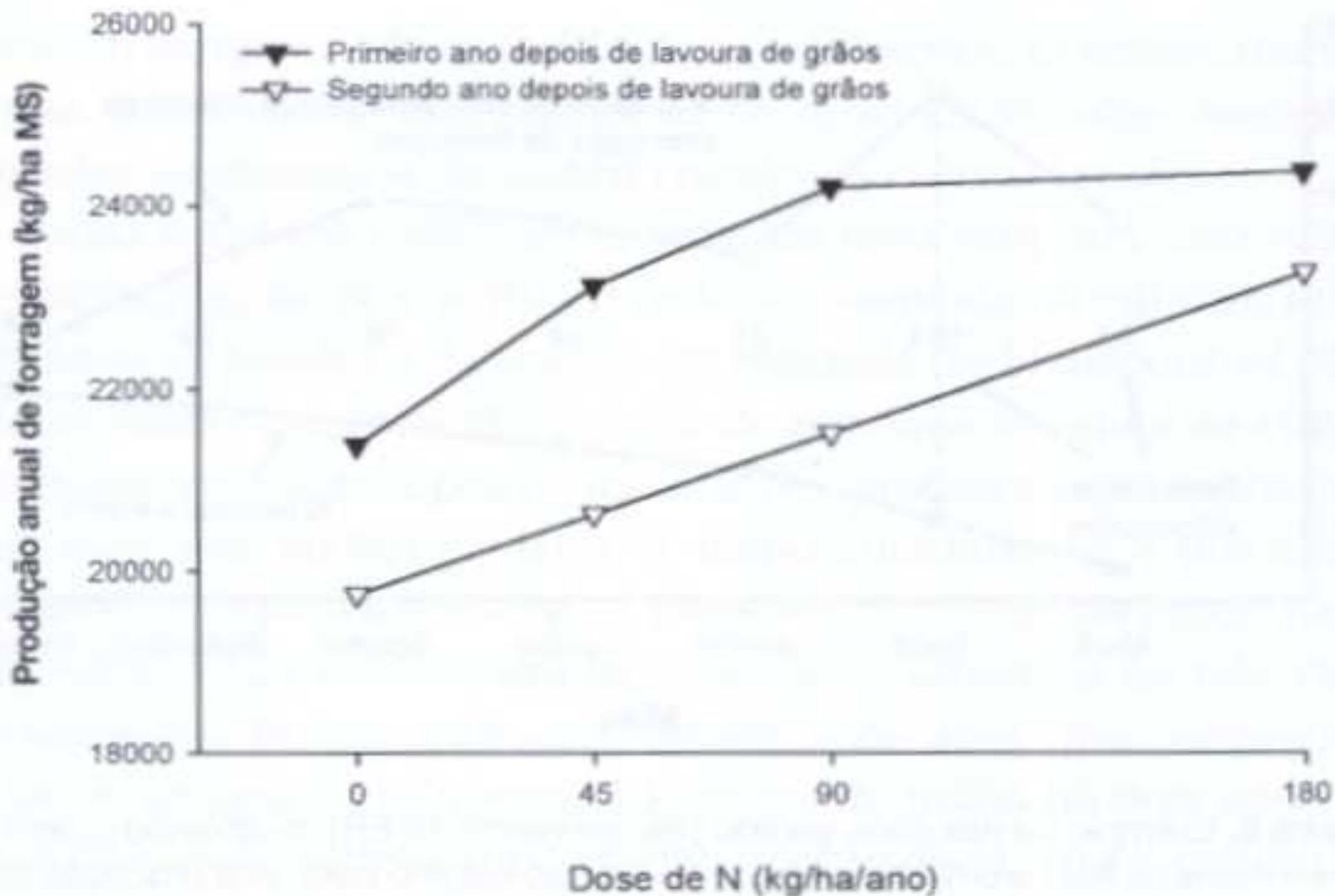


Figura 10. Produção de forragem no primeiro e no segundo ano depois do estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em área previamente cultivada com lavouras de grãos em latossolo vermelho-escuro de textura argilosa.
Fonte: Marcelino et al. (2001); adaptado de Vilela et al. (2004a).

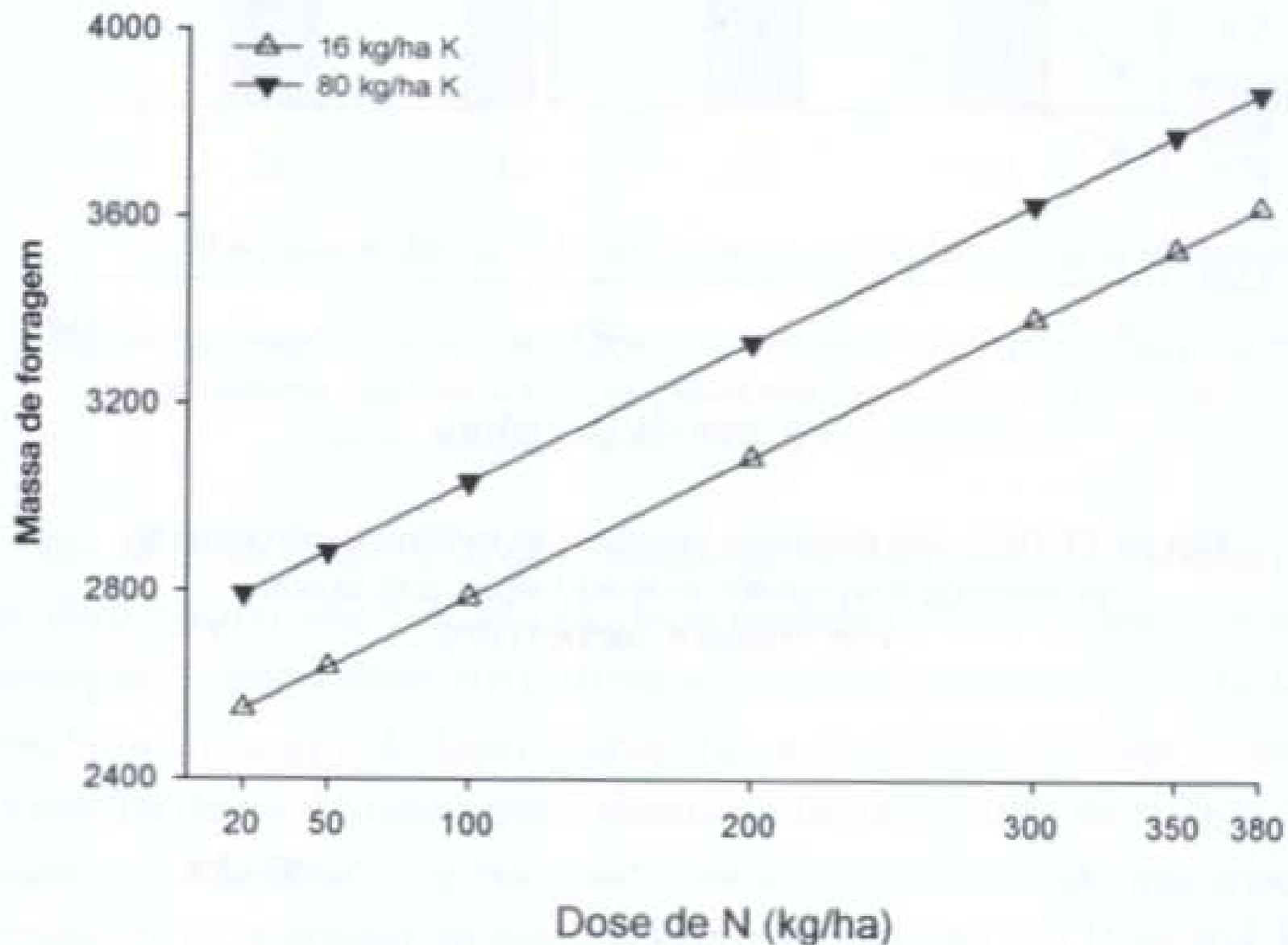


Figura 12. Resposta do capim-elefante aos fertilizantes nitrogenado e potássico.
Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2000).

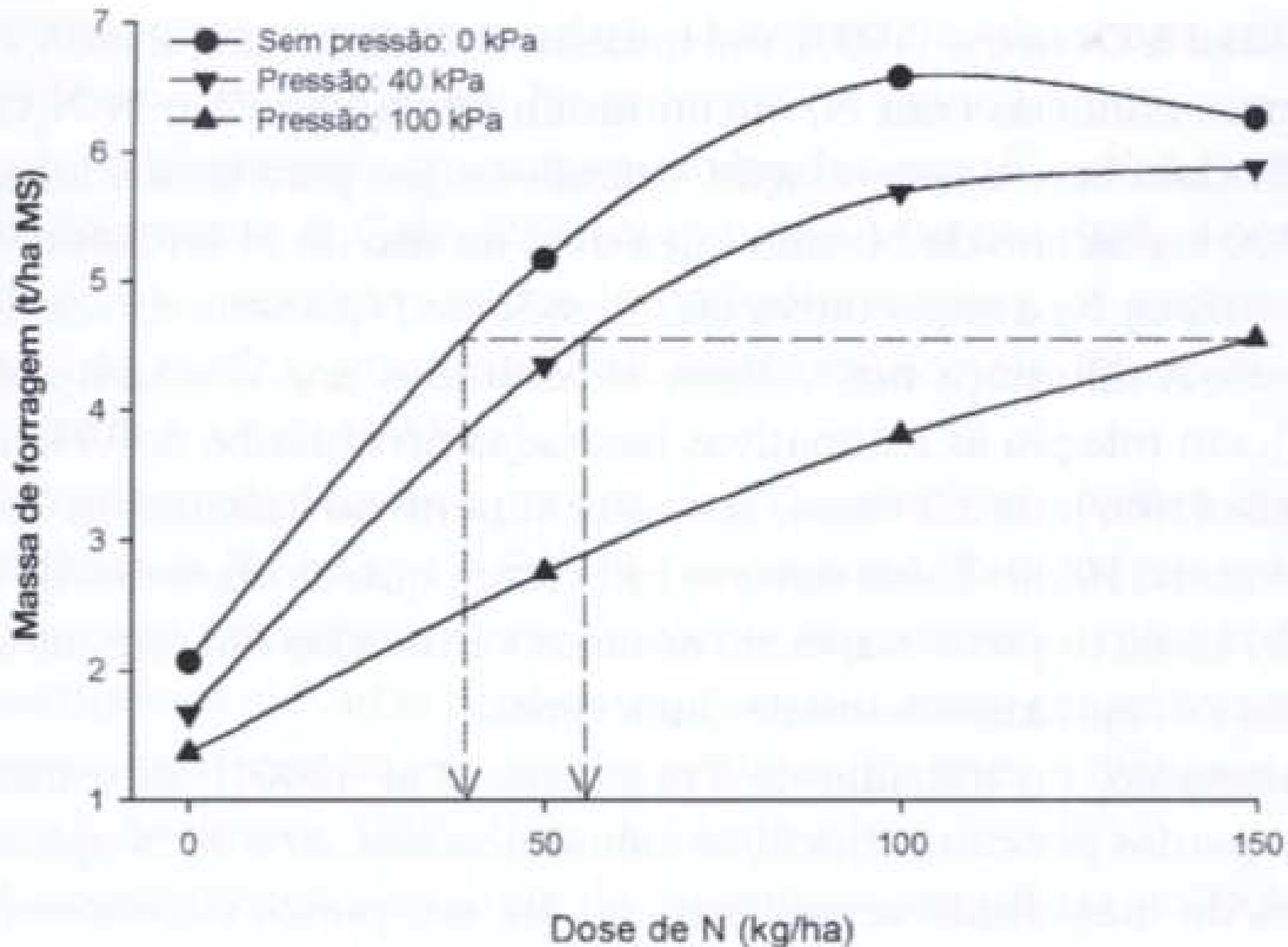


Figura 18. Efeito da compactação do solo e da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem de azevém perene.

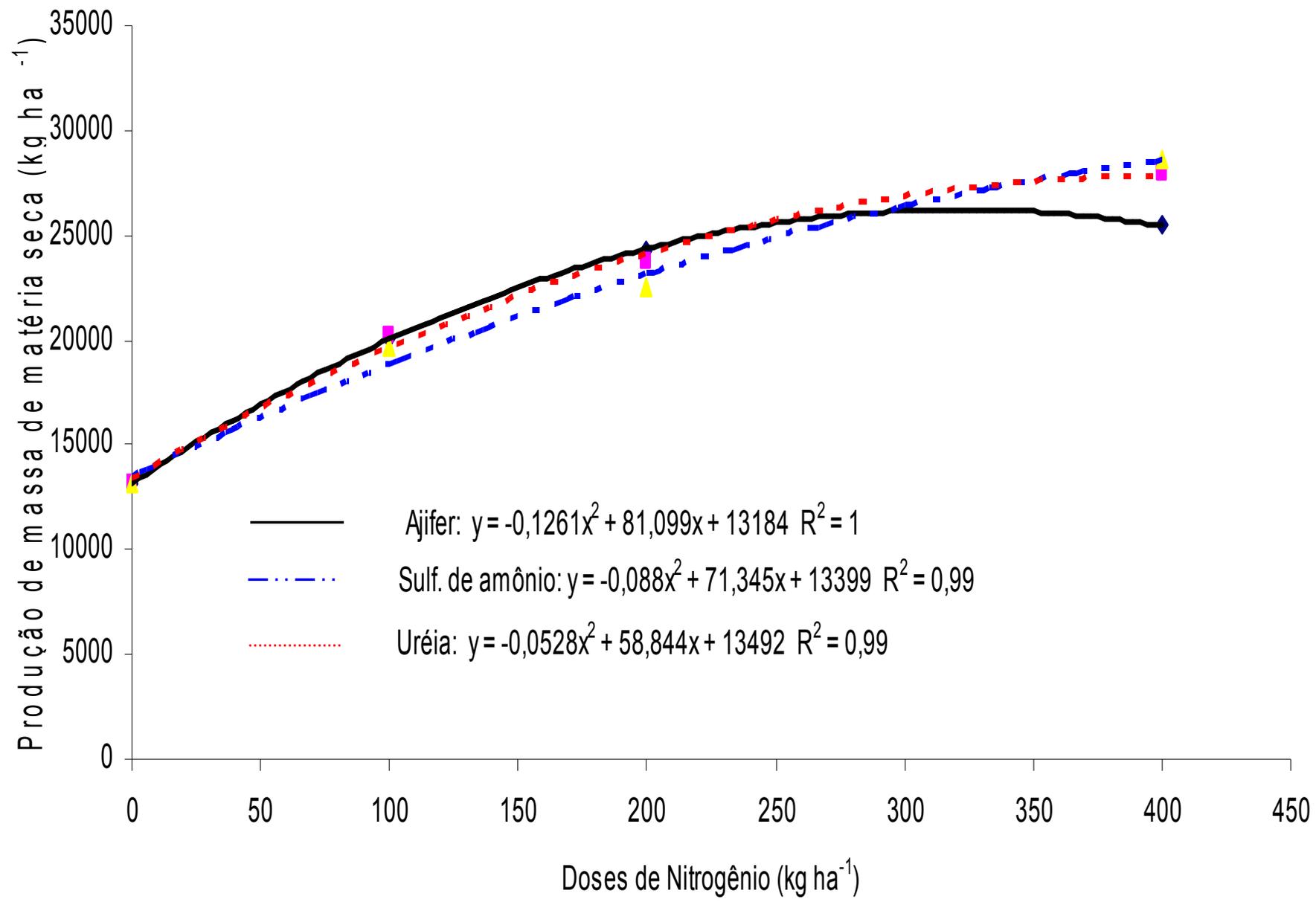
Fonte: Douglas & Crawford (1993).



Tabela 1. Eficiência de conversão de N-fertilizante em forragem (kg MS/kg N) em pastagens de gramíneas tropicais.

Dose máxima de N (kg/ha/ano)	Número de observações	Eficiência média	Erro padrão da média
< 150	223	27,9	1,04
150 a 300	112	24,7	1,52
> 300	47	21,2	1,95
Geral	382	26,1	0,79

Fonte: Adaptado a partir de diversos autores.



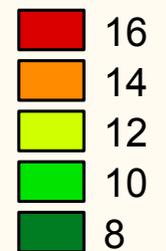
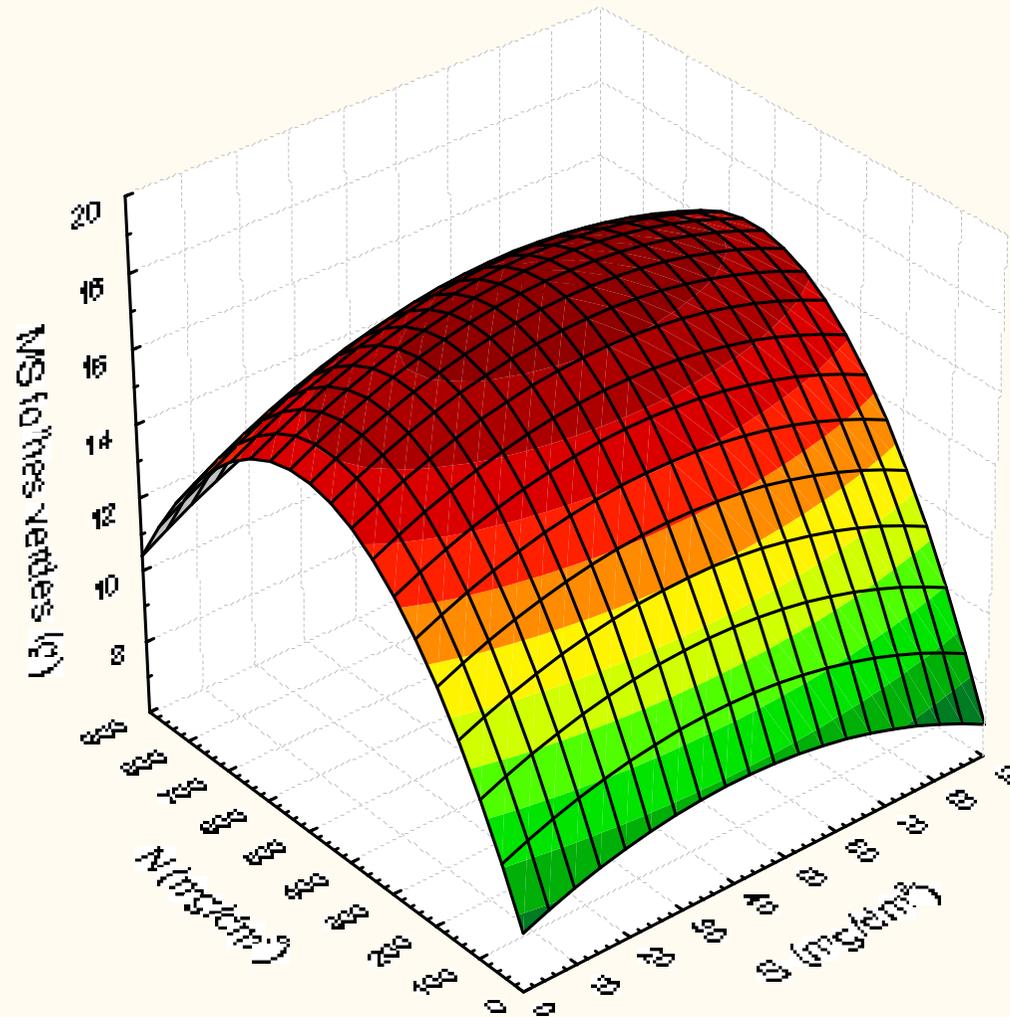


Produto	Dose N produção máxima econômica (kg ha ⁻¹)	Produção de massa seca (kg ha ⁻¹)	Custo da dose fertilizante (R\$)	Variação do custo / kg de MS (%)	Eficiência (kg de MS/kg de N aplicado)
Ajifer	246	24772,38	373,92	100	47,1
Sulf. Amônio	183	22492,23	570,96	168	41,0
Uréia	305	26527,70	649,65	162	42,7

Heinrichs et al. (2006)

3D Surface Plot (Dados boro.sta 15v*15c)

$$\text{MSflhverd} = 7,6192 + 0,0617 \cdot x + 0,0324 \cdot y - 0,0008 \cdot x \cdot x + 3,425 \cdot 10^{-5} \cdot x \cdot y - 3,2566 \cdot 10^{-5} \cdot y \cdot y$$

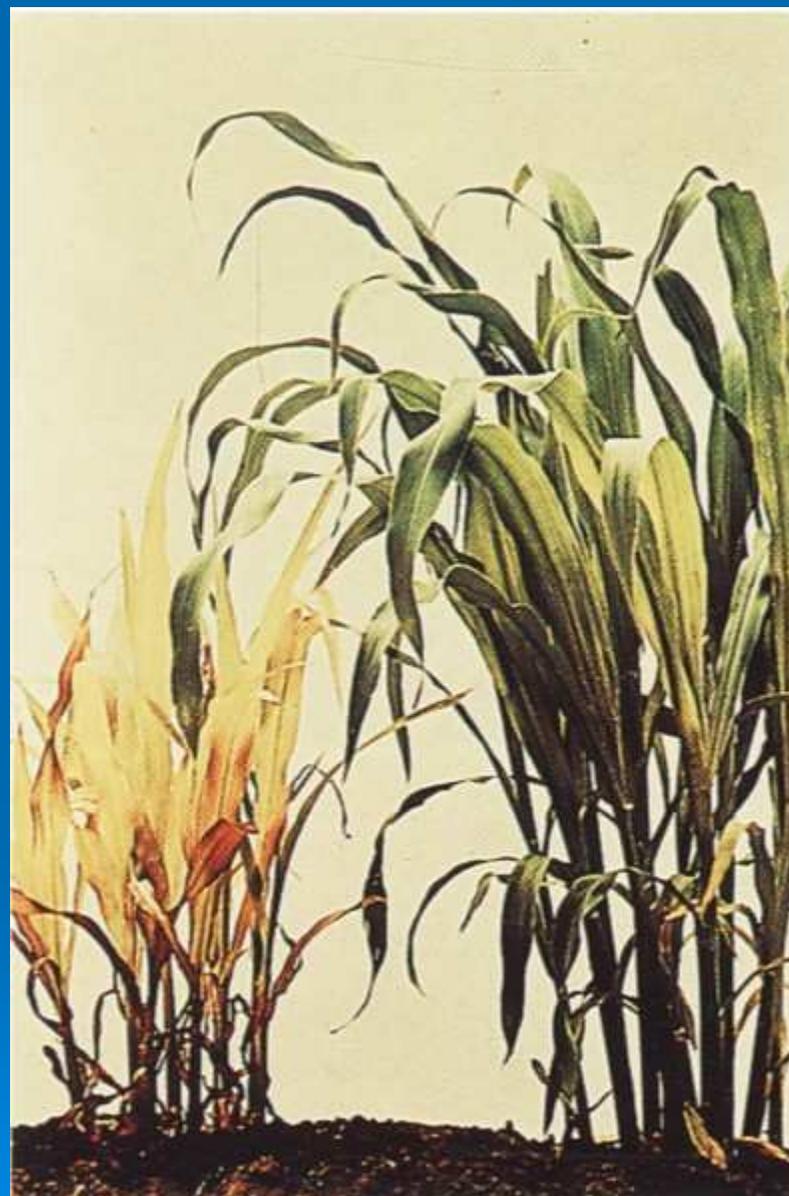


Brachiaria decumbens



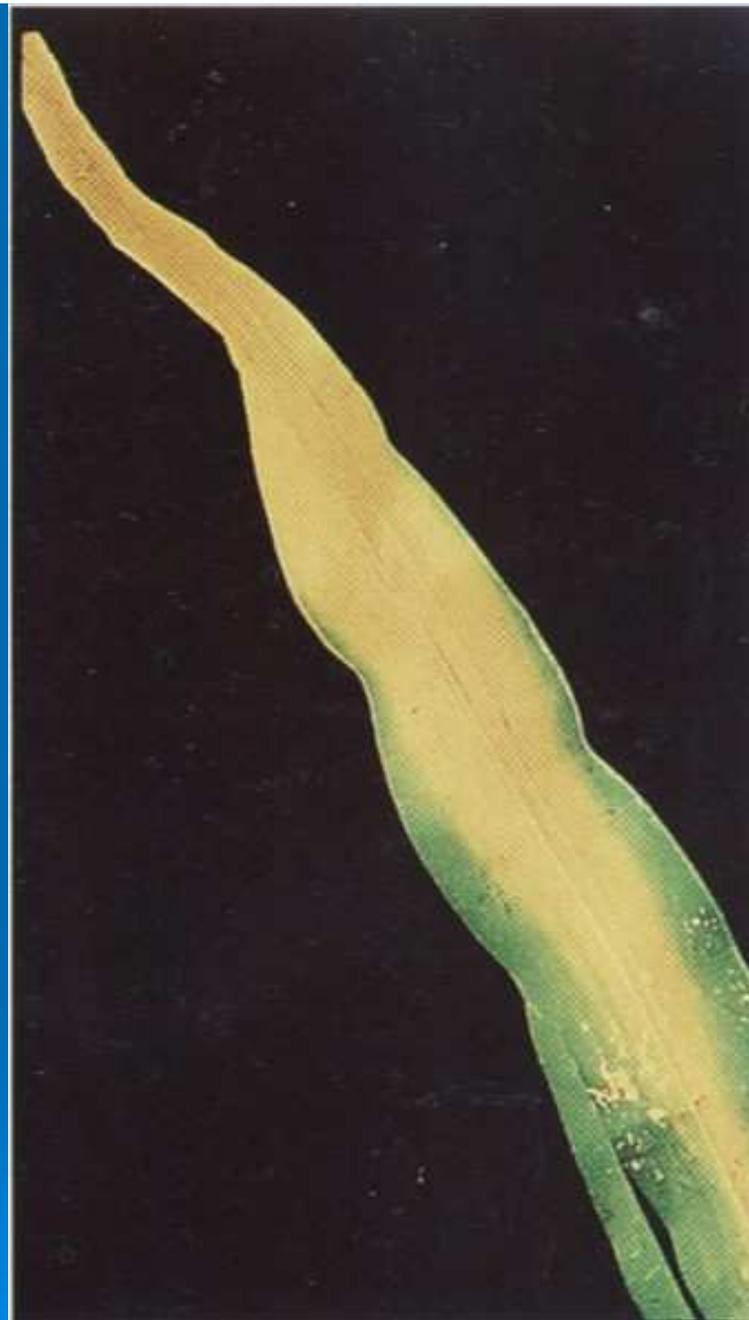
Deficiência de N em Aveia

Fonte: Bergmann, 1992.



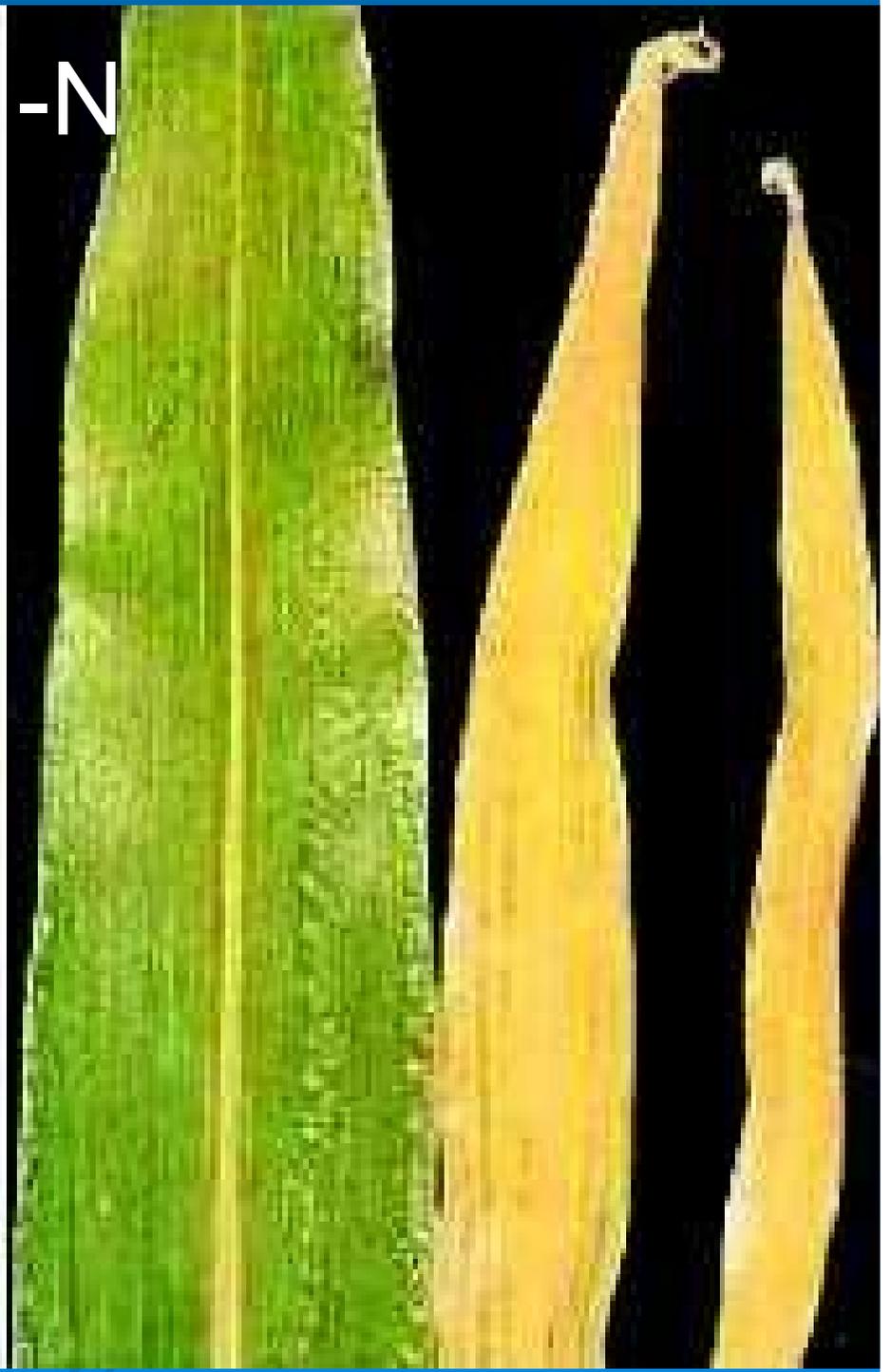
Deficiência de N em Milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de N em Milho

Fonte: Bergmann, 1992.



-N



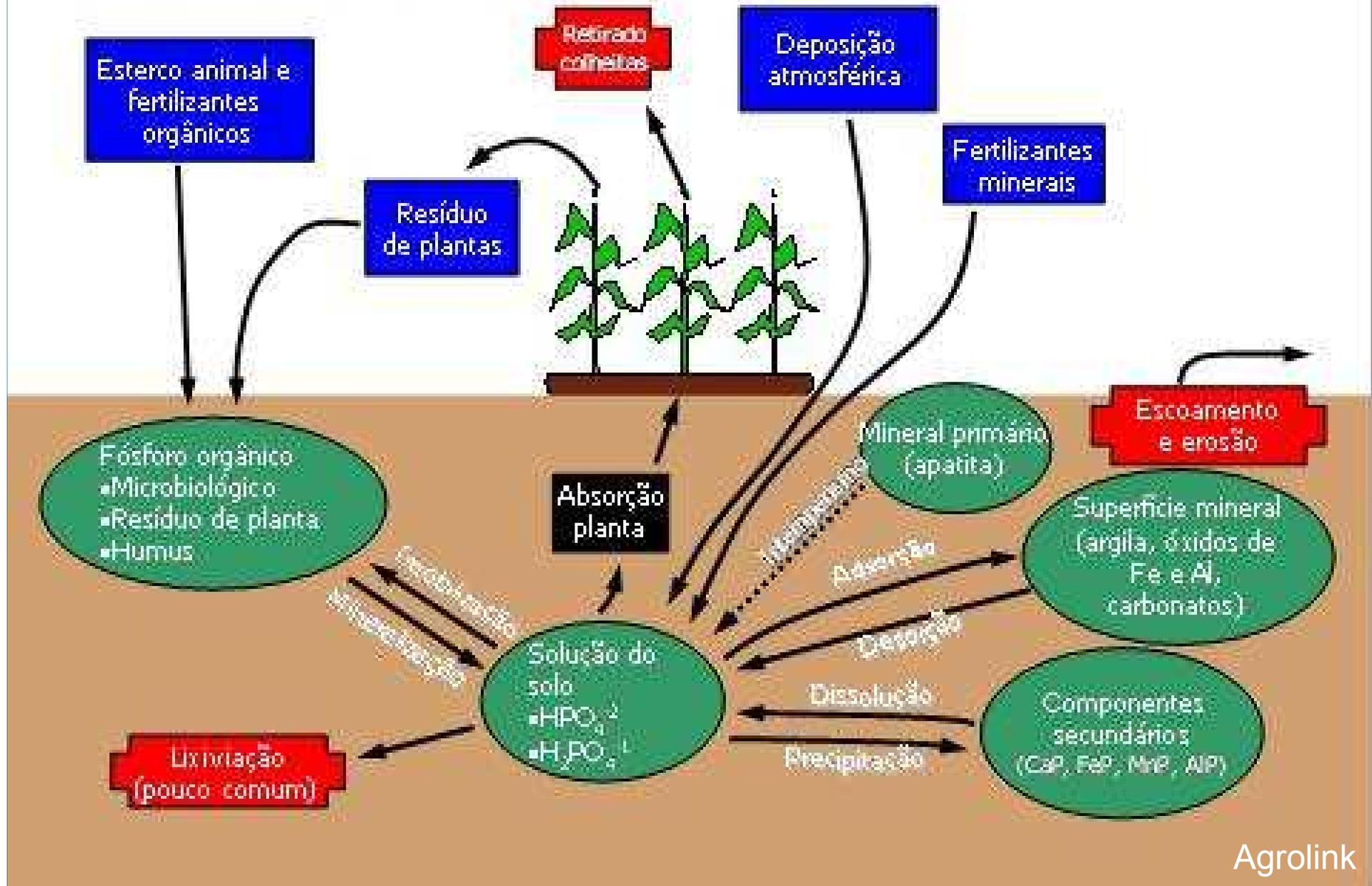


FÓSFORO

- Entre os três macronutrientes primários, é exigido em menor quantidade pelas plantas;
- É o mais usado em adubação no Brasil, devido a carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros

Ciclo do Fósforo

Componente Entrada Saída





FORMAS NO SOLO

- Em solos levemente ácidos, predomina na solução a forma H_2PO_4^- .

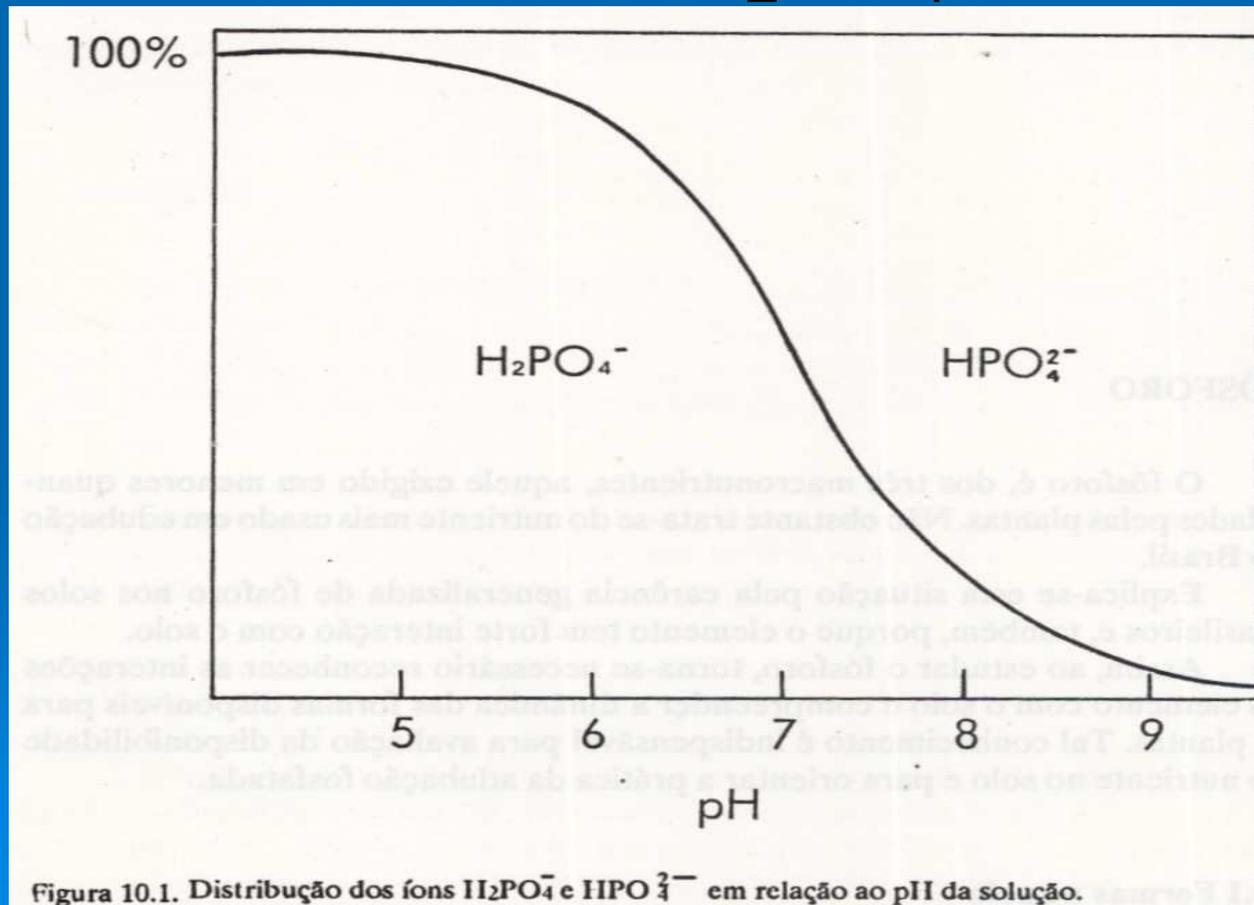


Figura 10.1. Distribuição dos íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} em relação ao pH da solução.



FORMAS NO SOLO

- Em solos levemente ácidos, predomina na solução a forma H_2PO_4^- .
- Fase sólida do solo: P combina, como ortofosfato, principalmente com o Fe, Al, Ca e matéria orgânica na forma H_2PO_4^- .
- Solos ácidos com caulinita e óxidos de Fe (estrenigita) e Al (variscita) são mais importantes as combinações de P com ferro e alumínio.

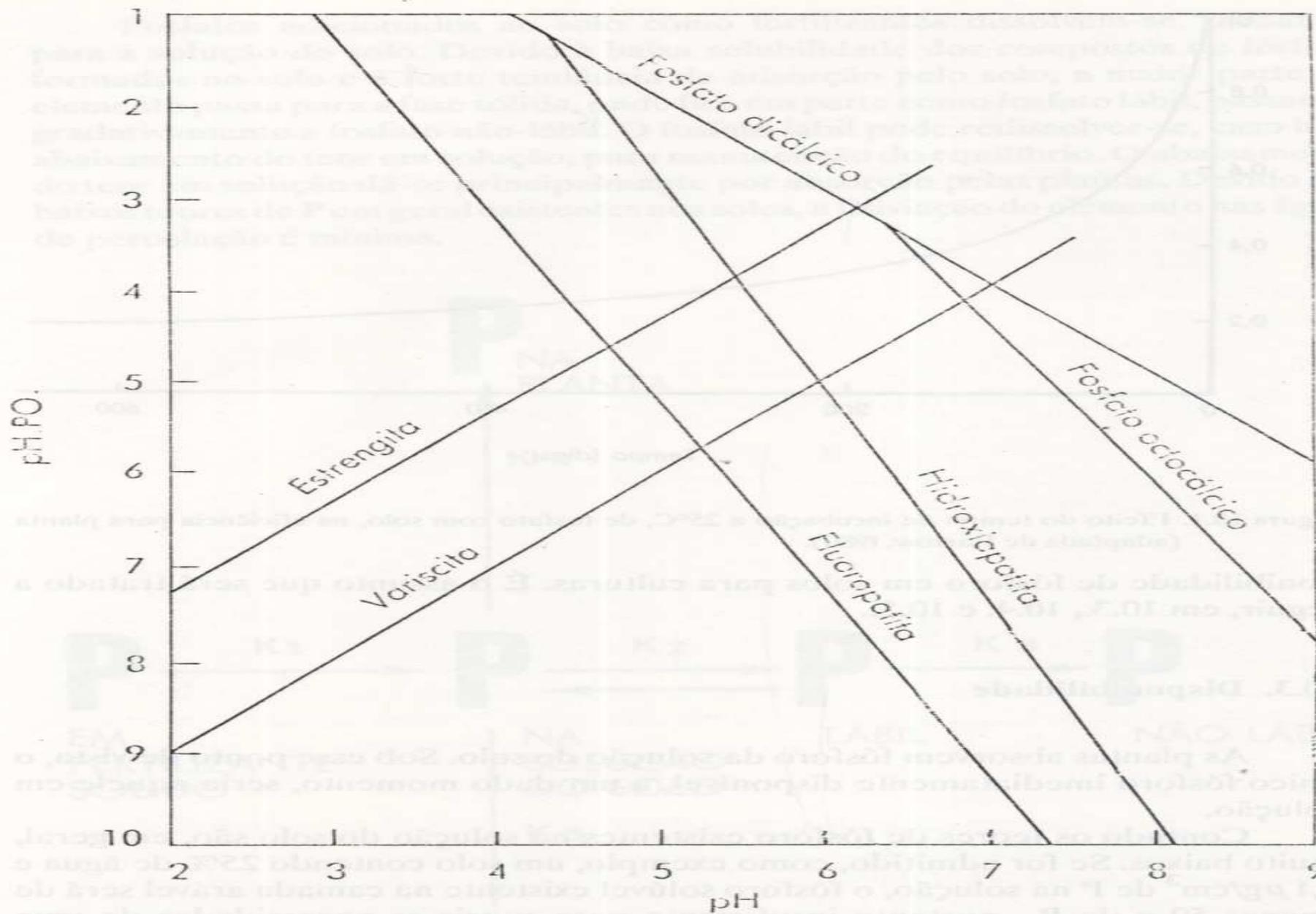


Figura 10.3. Isothermas de solubilidade para diversos fosfatos, a uma atividade de cálcio de $pCa = 2,50$ (adaptada de Olsen & Khasawneh, 1980).



FORMAS NO SOLO



- Em solos levemente ácidos, predomina na solução a forma H_2PO_4^- .
- Fase sólida do solo: P combina, como ortofosfato, principalmente com o Fe, Al, Ca e matéria orgânica na forma H_2PO_4^- .
- Solos ácidos com caulinita e óxidos de Fe (estrengita) e Al (variscita) são mais importantes as combinações de P com ferro e alumínio.
- Solos neutros: fosfatos de cálcio (apatitas) que são de baixa solubilidade.

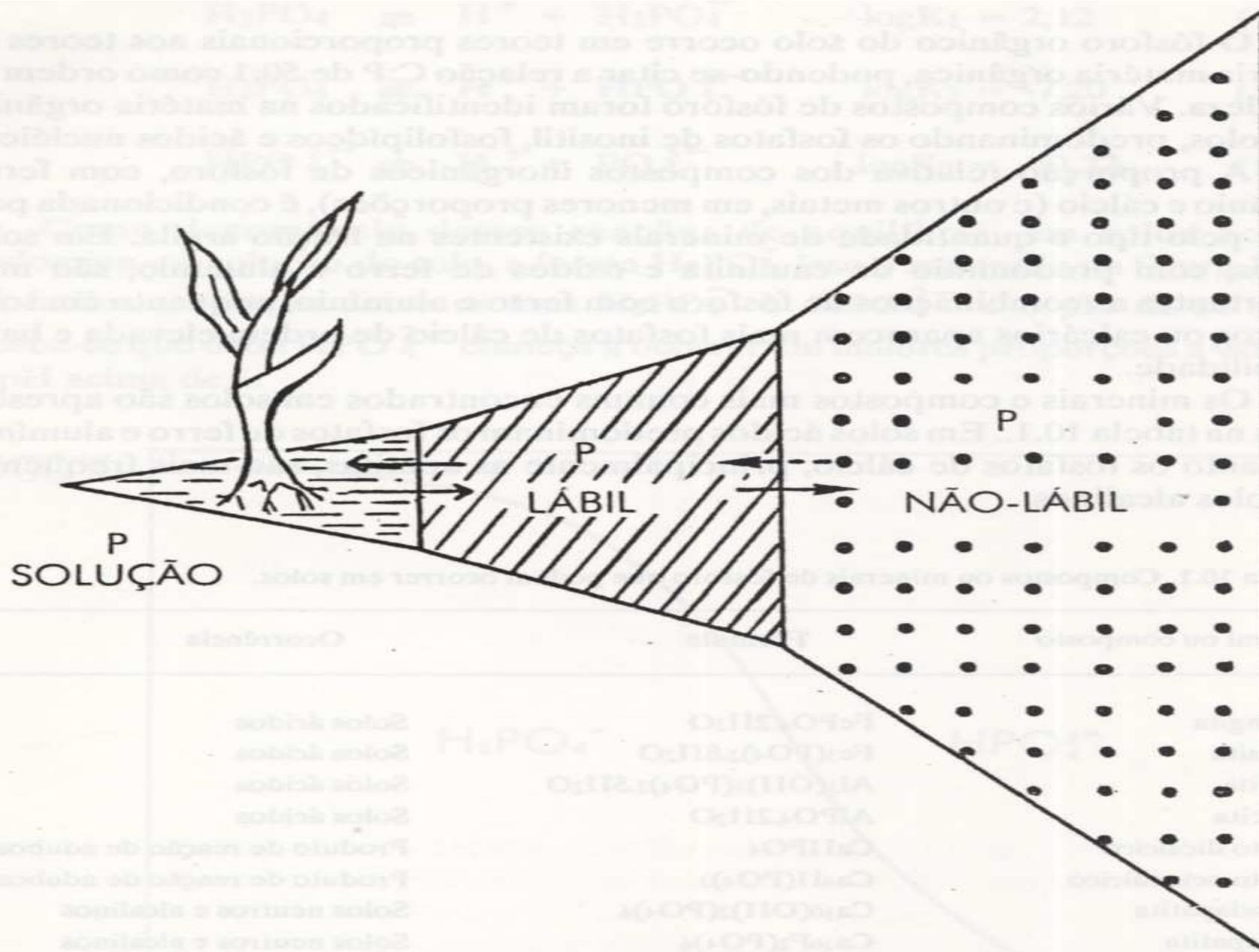


Figura 10.2. Diagrama mostrando a relação entre as frações de fósforo não-lábil e o fósforo na solução do solo (adaptada de International Superphosphate Manufacturers Association, 1978).

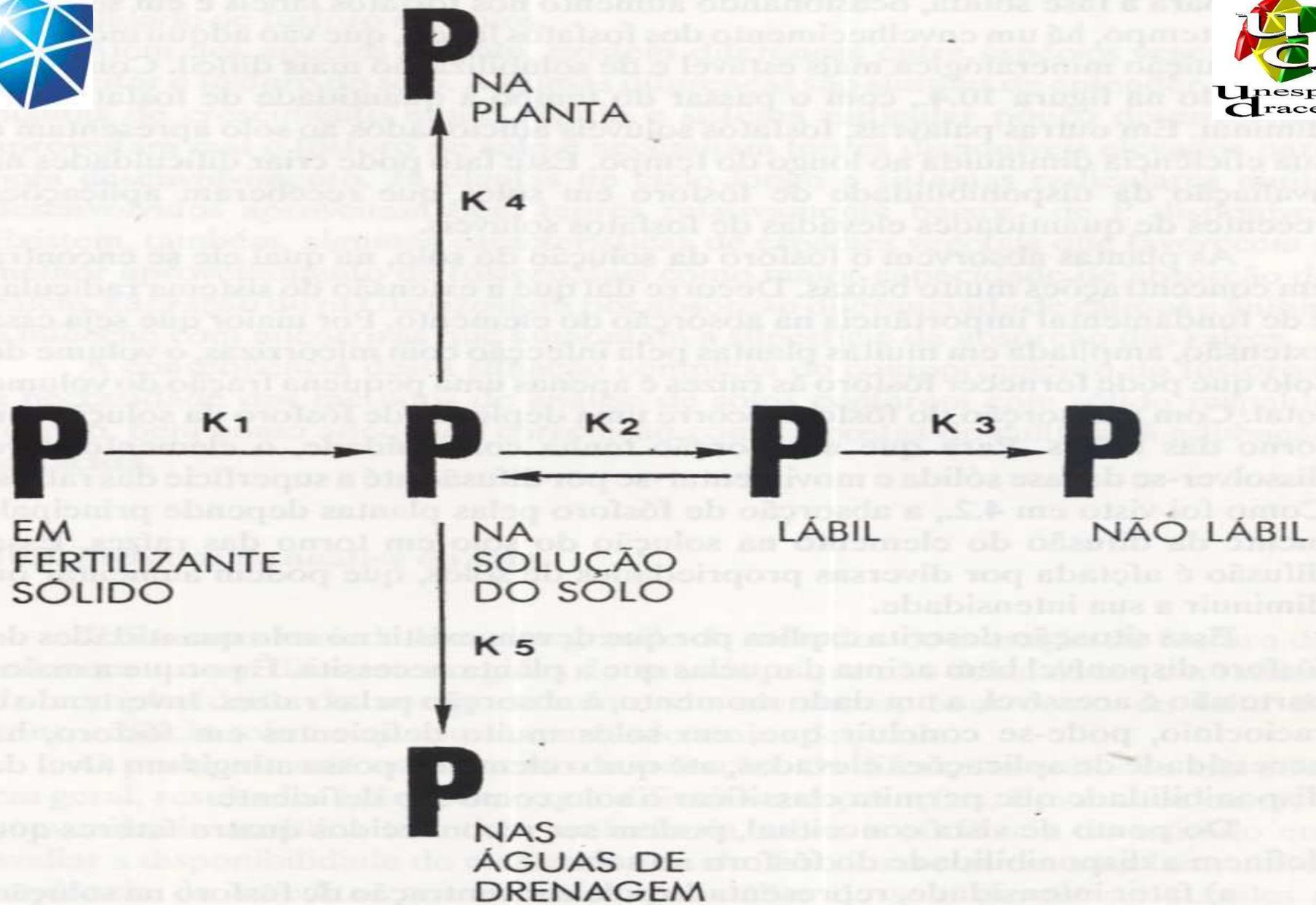


Figura 10.5. Representação esquemática do fósforo com relação aos aspectos que afetam a nutrição vegetal (adaptada de Larsen, 1971).



FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO

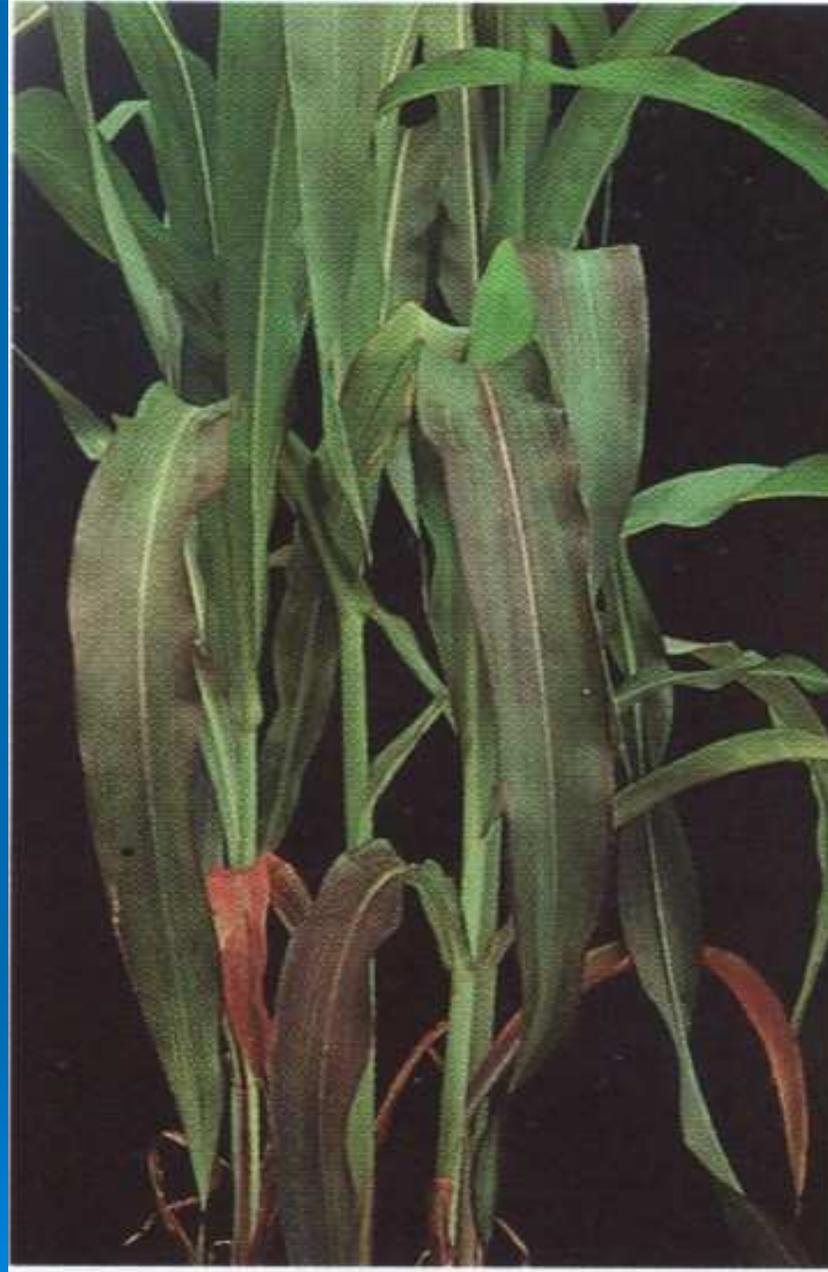


- a) Fator intensidade: representa a concentração de P na solução;
- b) Fator quantidade: representa o P lábil que passa para solução;
- c) Fator capacidade (poder tampão): representado pelas condições do solo em manter o P em solução em níveis adequados, pela dissolução do elemento da fase sólida;
- d) Fator difusão: migração do íon fosfato da superfície da fase sólida do solo até a superfície das raízes.



Deficiência de P em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de P em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de P

Fonte: Bergmann, 1992.

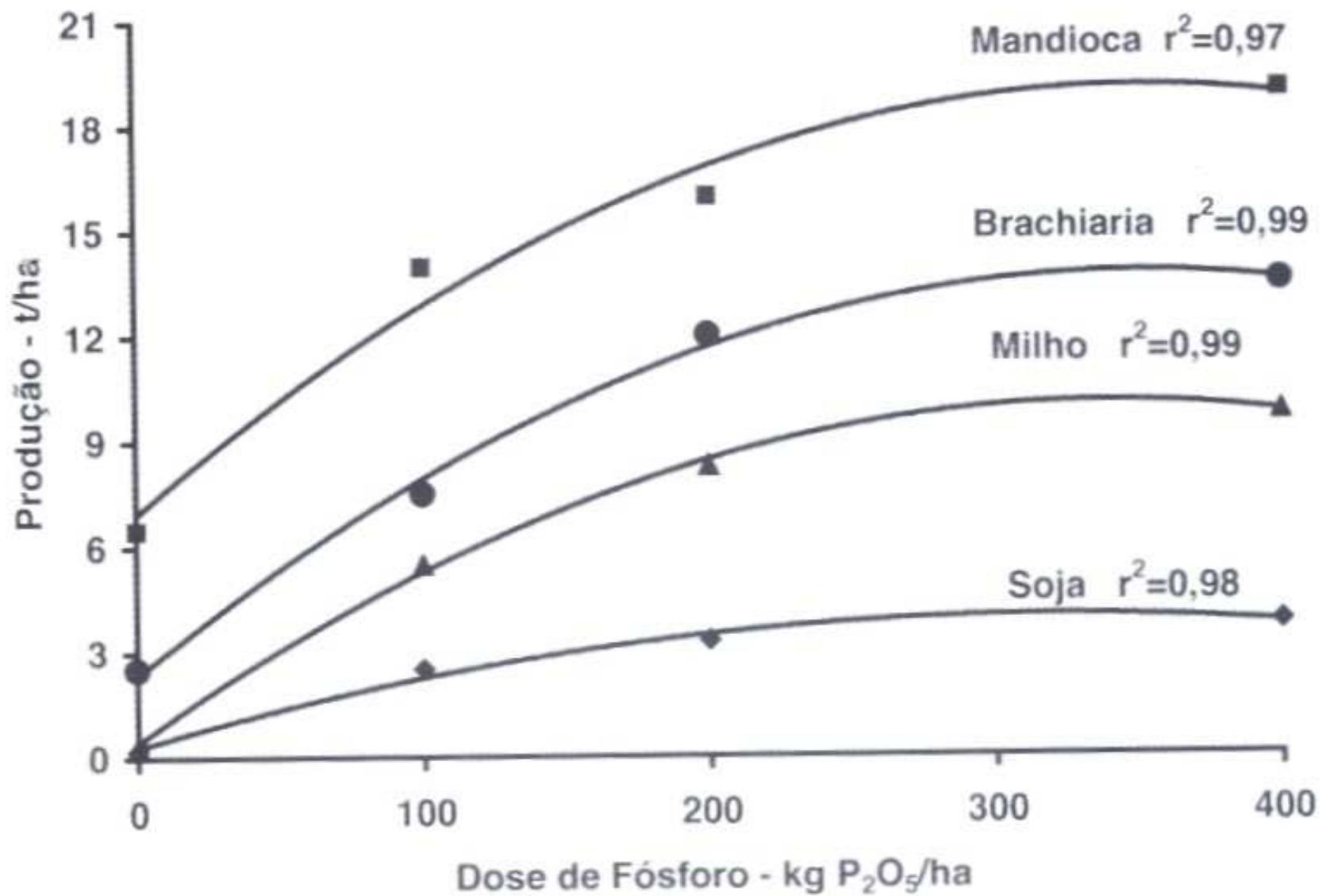


Figura 1. Respostas de algumas culturas à adubação fosfatada aplicada a lanço em solo argiloso de cerrado. Fonte: Sousa & Lobato (2003).

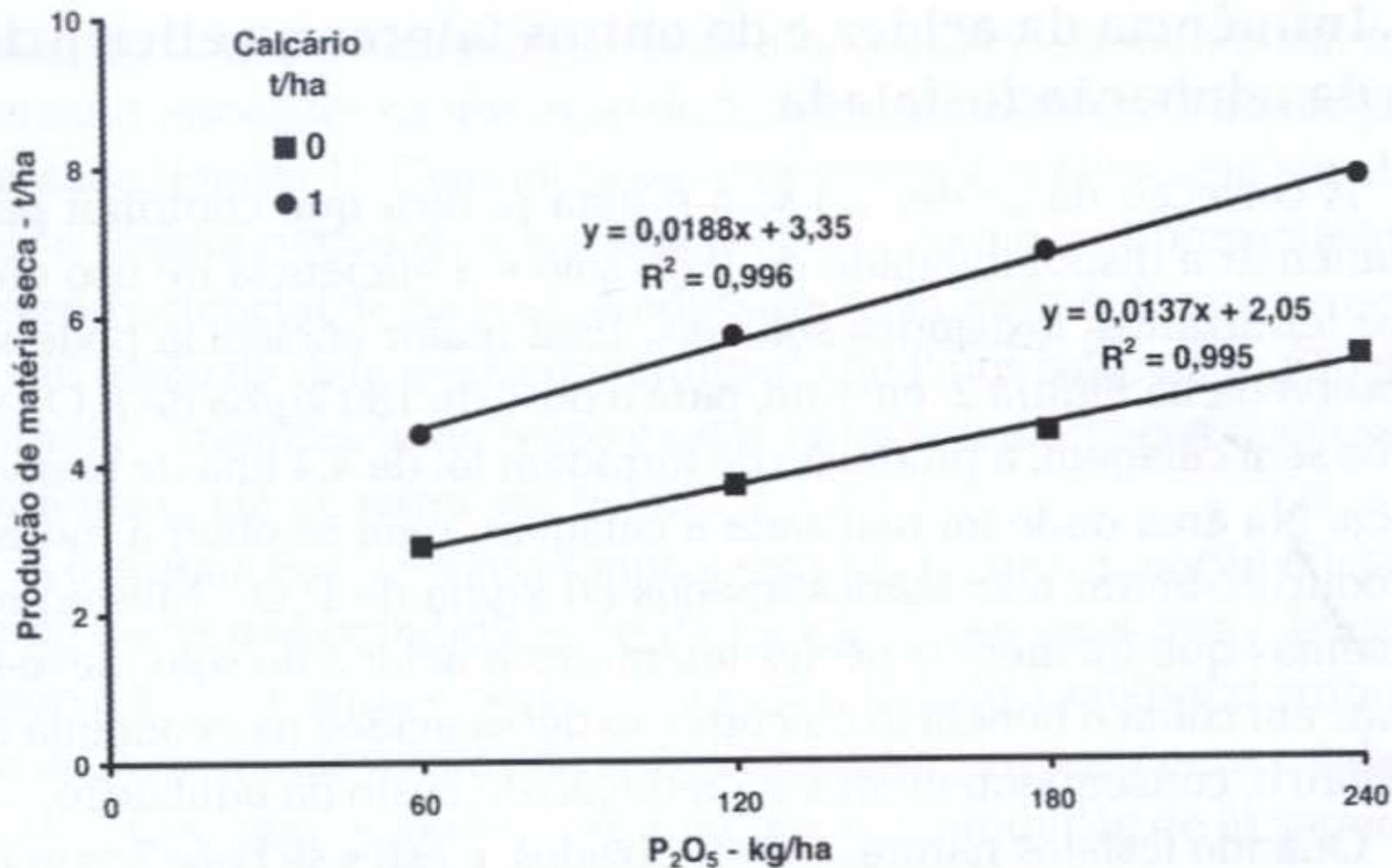


Figura 2. Produção acumulada de matéria seca de forragem de *Andropogon gayanus* em um período de dois anos em resposta a doses de calcário e de fósforo, aplicado a lanço, na forma de superfosfato triplo, em tatossolo vermelho-escuro argiloso.

Fonte: Adaptado de Couto et al. (1982).

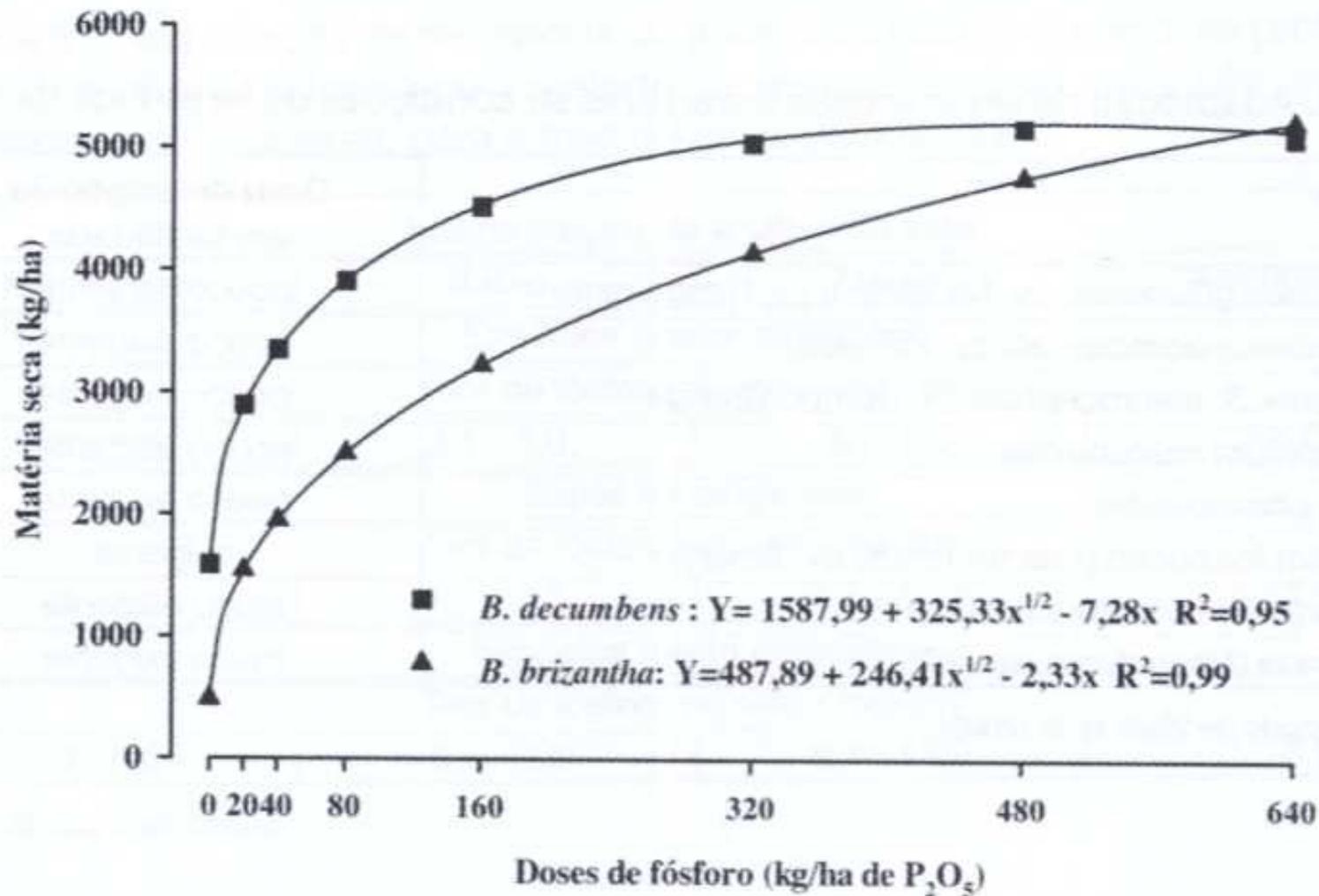


Figura 7. Resposta de duas braquiárias (*Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu) a doses de fósforo aplicadas em um latossolo vermelho-amarelo, álico, textura média (30,7% de argila) da região de São Carlos, SP. O teor inicial de fósforo no solo era de 2,5 mg/dm³ (P-resina). Adaptado de Corrêa e Haag (1993).

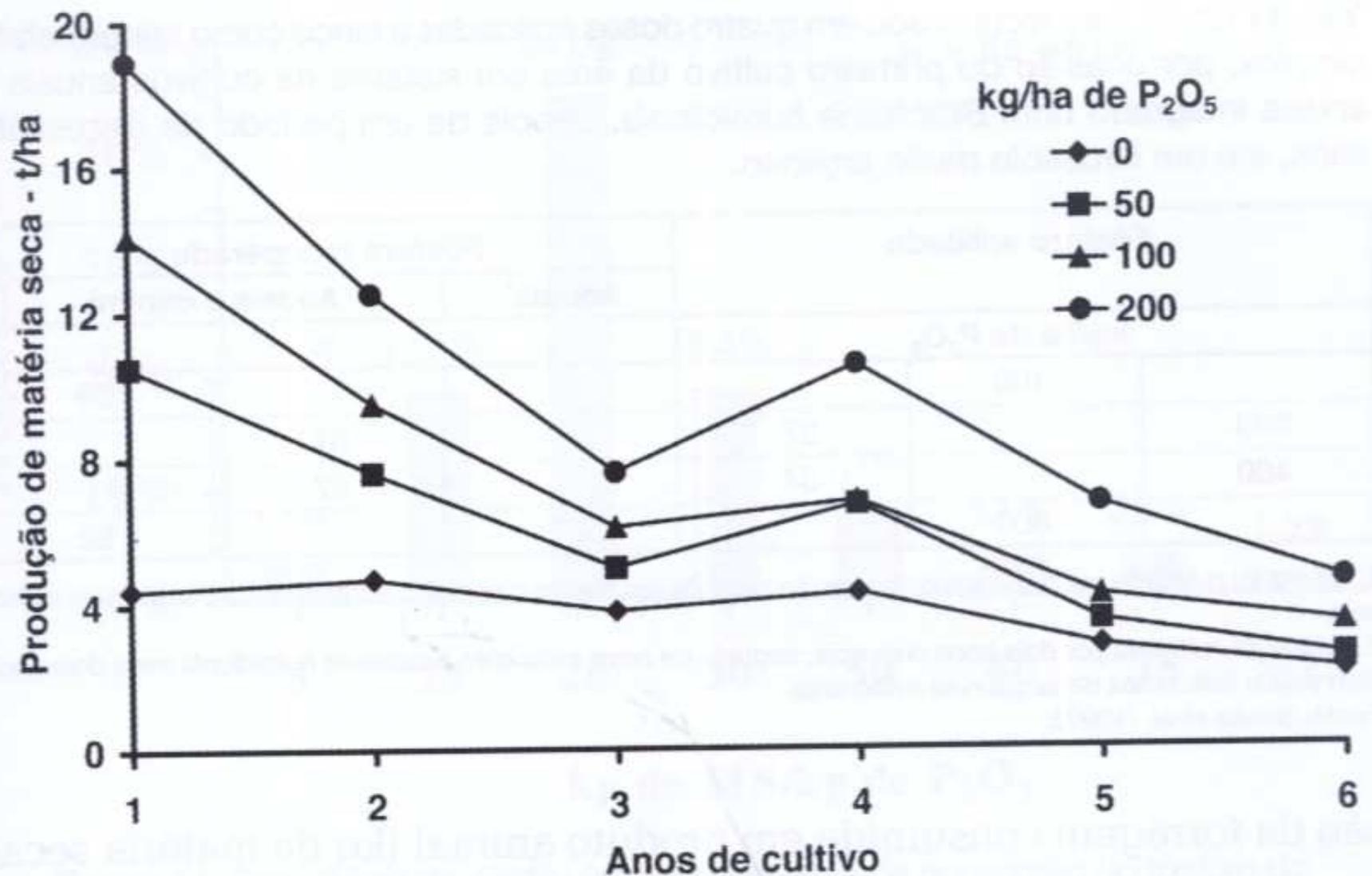


Figura 10. Matéria seca de *Brachiaria decumbens* avaliada por um período de seis anos depois da aplicação a lanço de diferentes doses de fósforo, incorporadas ao solo, tendo como fonte o superfosfato triplo, em um LE textura média.

Fonte: Lobato et al., dados não publicados.

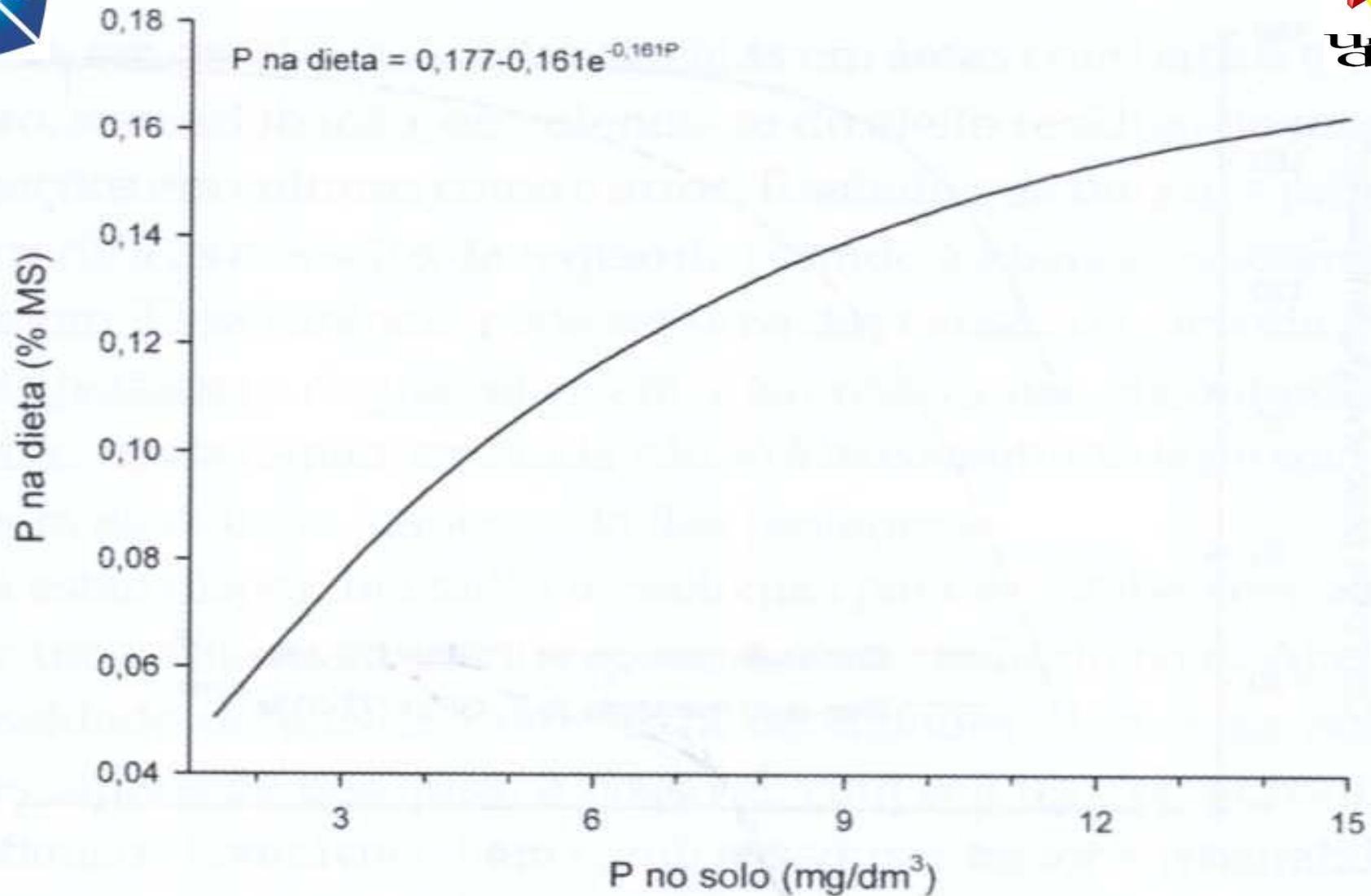


Figura 15. Relação entre o teor de fósforo no solo (0,5 M NaHCO₃) e o teor de fósforo na dieta de animais em pastejo.

Fonte: Kerridge et al. (1990).



POTÁSSIO

- Segundo macronutriente em teor nas plantas;
- Depois do P, o nutriente mais consumido pela agricultura brasileira;
- Basicamente tem apenas um adubo potássico de grande importância (KCl);



DISPONIBILIDADE



- Absorvido pelas plantas, da solução do solo, na forma de K^+ ;
- Absorção depende principalmente da difusão, em menor proporção do fluxo de massa;
- Apresenta alta solubilidade → mobilidade muito grande;
- Climas temperados, as frações não trocáveis são muito importantes, podendo condicionar os teores trocáveis.

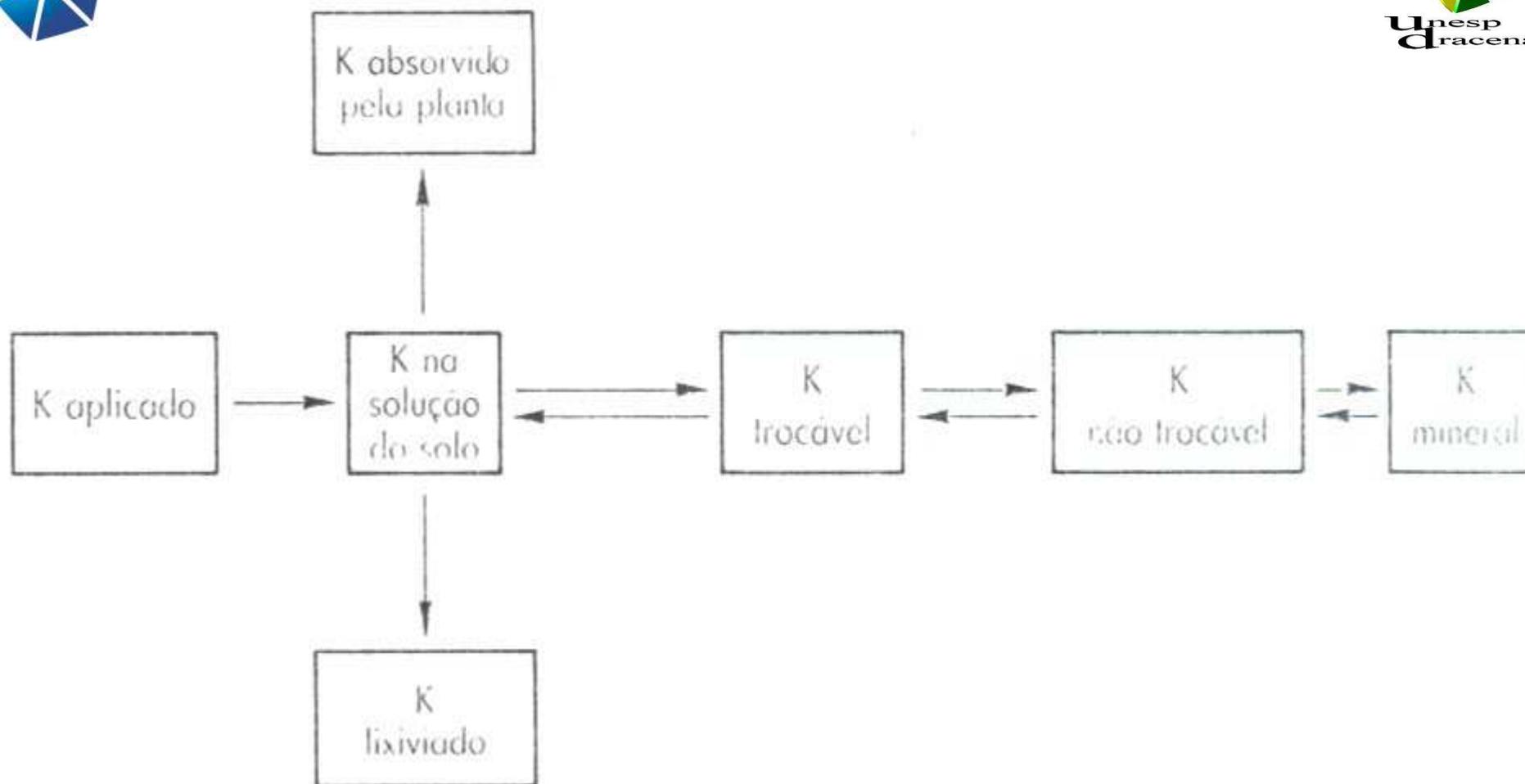
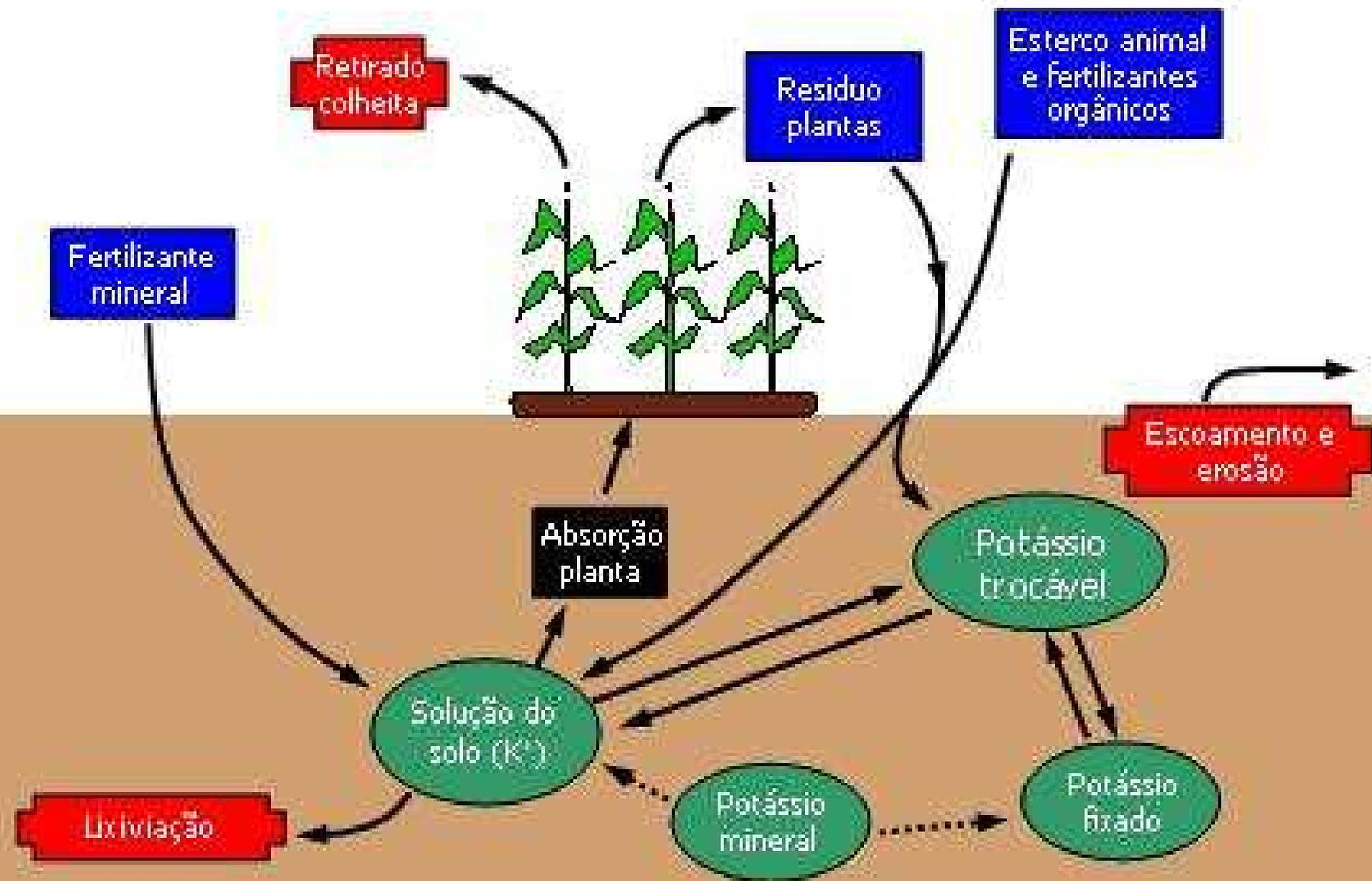


Figura 11.1. Representação esquemática das diversas formas de potássio do solo e da sua dinâmica.

Ciclo do Potássio

Componente Entrada Saída





POTÁSSIO PARA AS CULTURAS



- Teor na planta somente é inferior ao N;
- Teores elevados nas partes colhidas, exceção de grãos amiláceos;
- Maior parte do K é absorvido na fase de crescimento vegetativo;
- Função: ativador enzimático e manutenção da turgidez das células, não apresenta função estrutural;



- Sintomas de deficiência: redução do crescimento e clorose e necrose nas folhas velhas, iniciando pelas pontas e margens das mesmas;
- Pode causar efeito salino para planta em função do fertilizante (KCl);
- Aumento da concentração de K reduz a absorção de Ca e Mg;
- Os teores em plantas colhidas com elevado teor de água são importantes, por causa da grande massa colhida por área (batatinha, mandioca, laranja, cana-de-açúcar);



- Maior parte do K é absorvida na fase de crescimento vegetativo;
- Pode causar efeito salino para as plantas em função do adubo aplicado (KCl);
- Em função do efeito salino, doses elevadas de K, muitas vezes são aplicadas em cobertura, junto com o N;
- Como as culturas muitas vezes não respondem muito ao K aplicado, há pouca pesquisa sobre o nutriente.



Deficiência de K em Aveia



Deficiência de K em milho

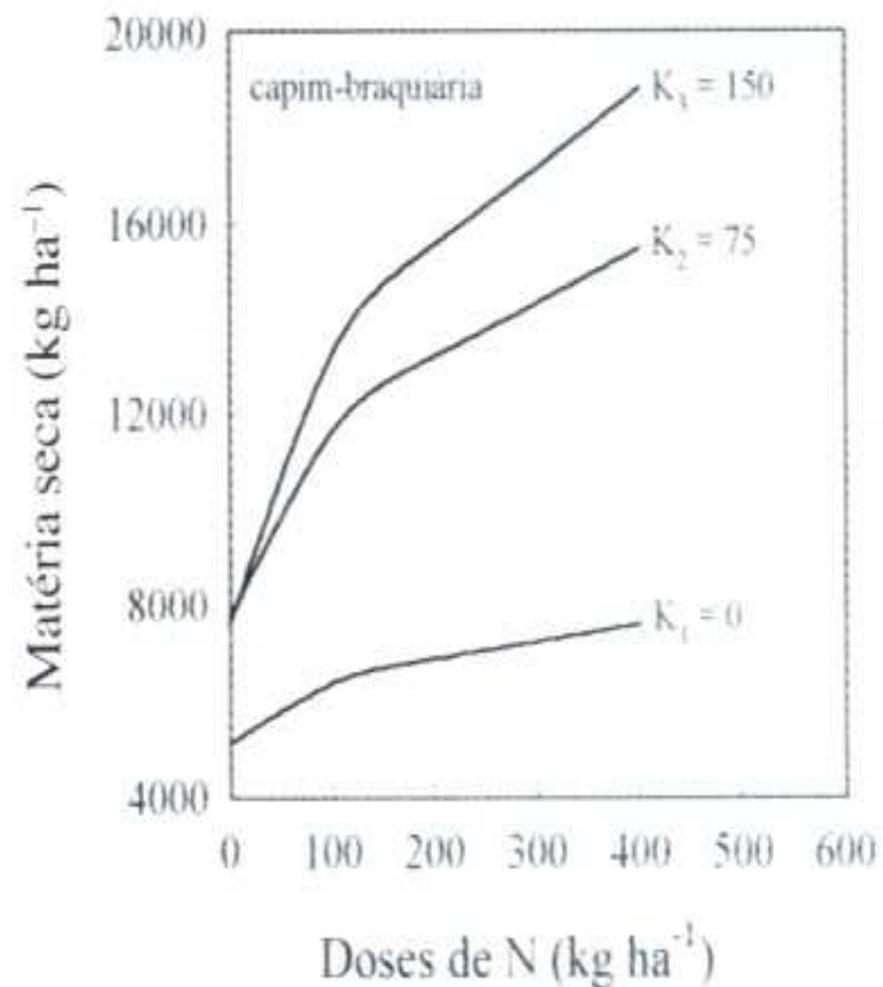
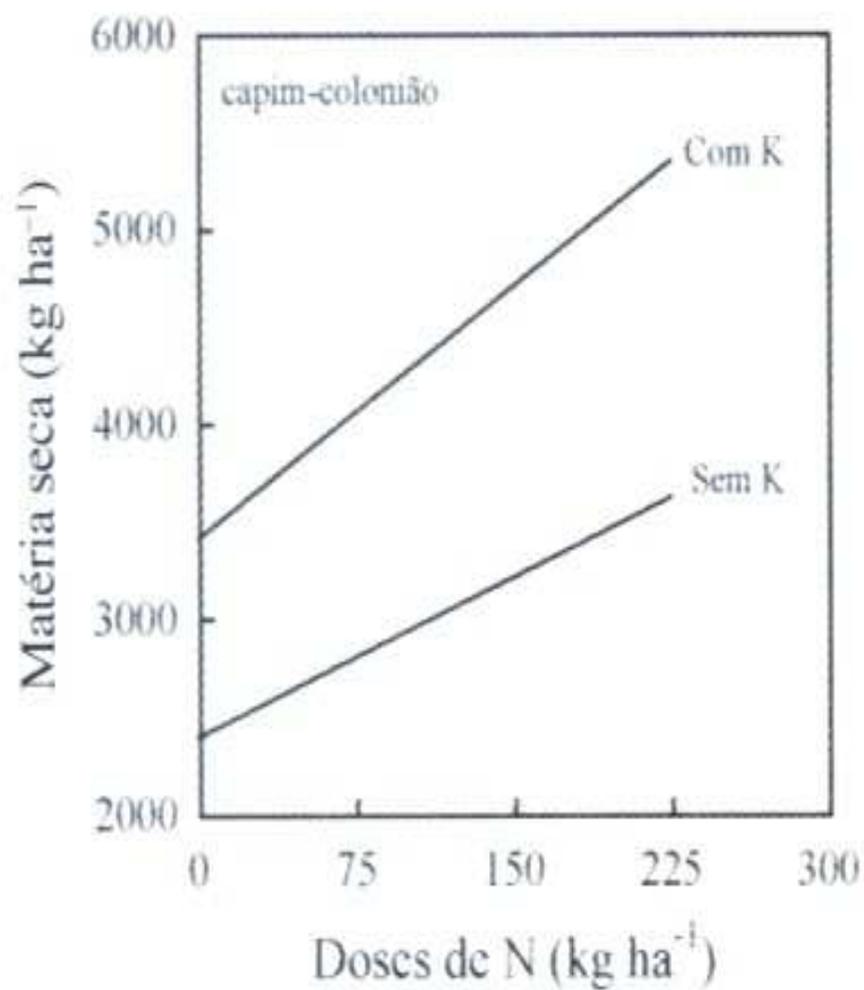


Figura 3. Efeito da adubação nitrogenada e potássica na produção de massa seca dos capins Colonião (adaptado de Monteiro et al., 1980) e Braquiária (Carvalho et al., 1991).

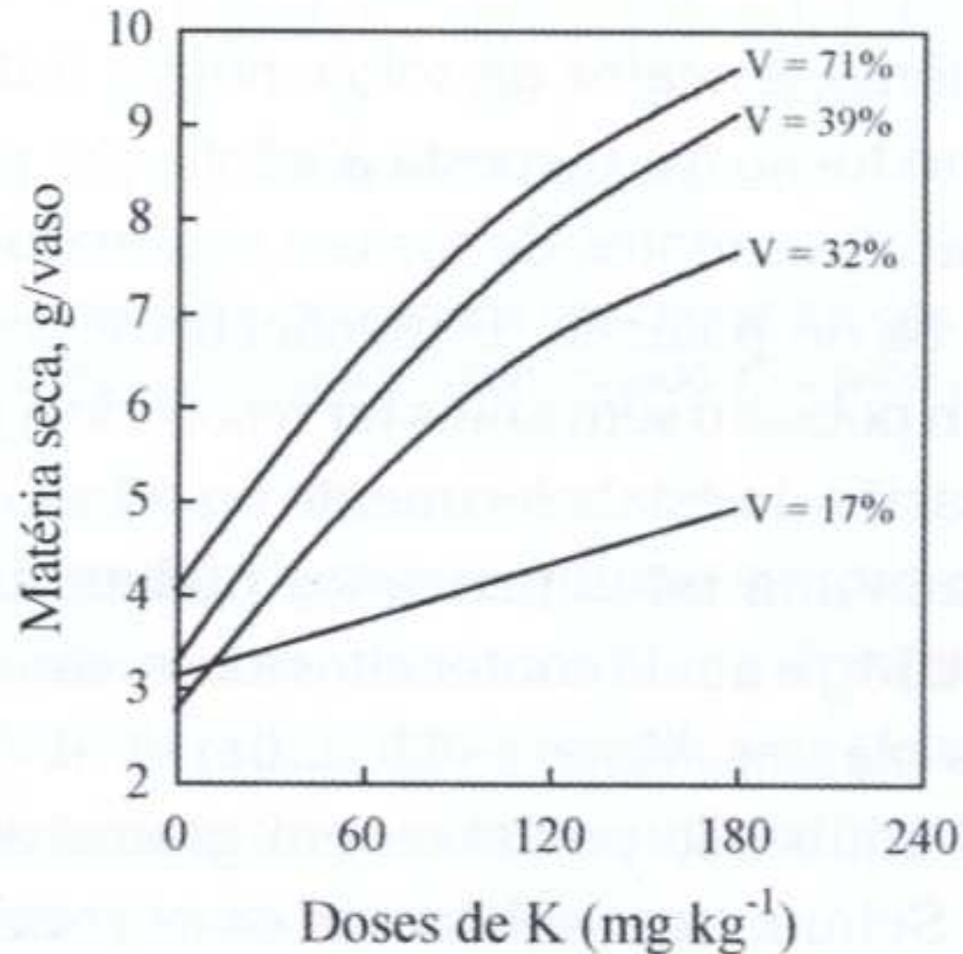


Figura 5. Efeito da adubação potássica e da saturação por bases do solo na produção de massa seca do capim Tifton 85 (2º crescimento) – adaptado de Pereira (2003).

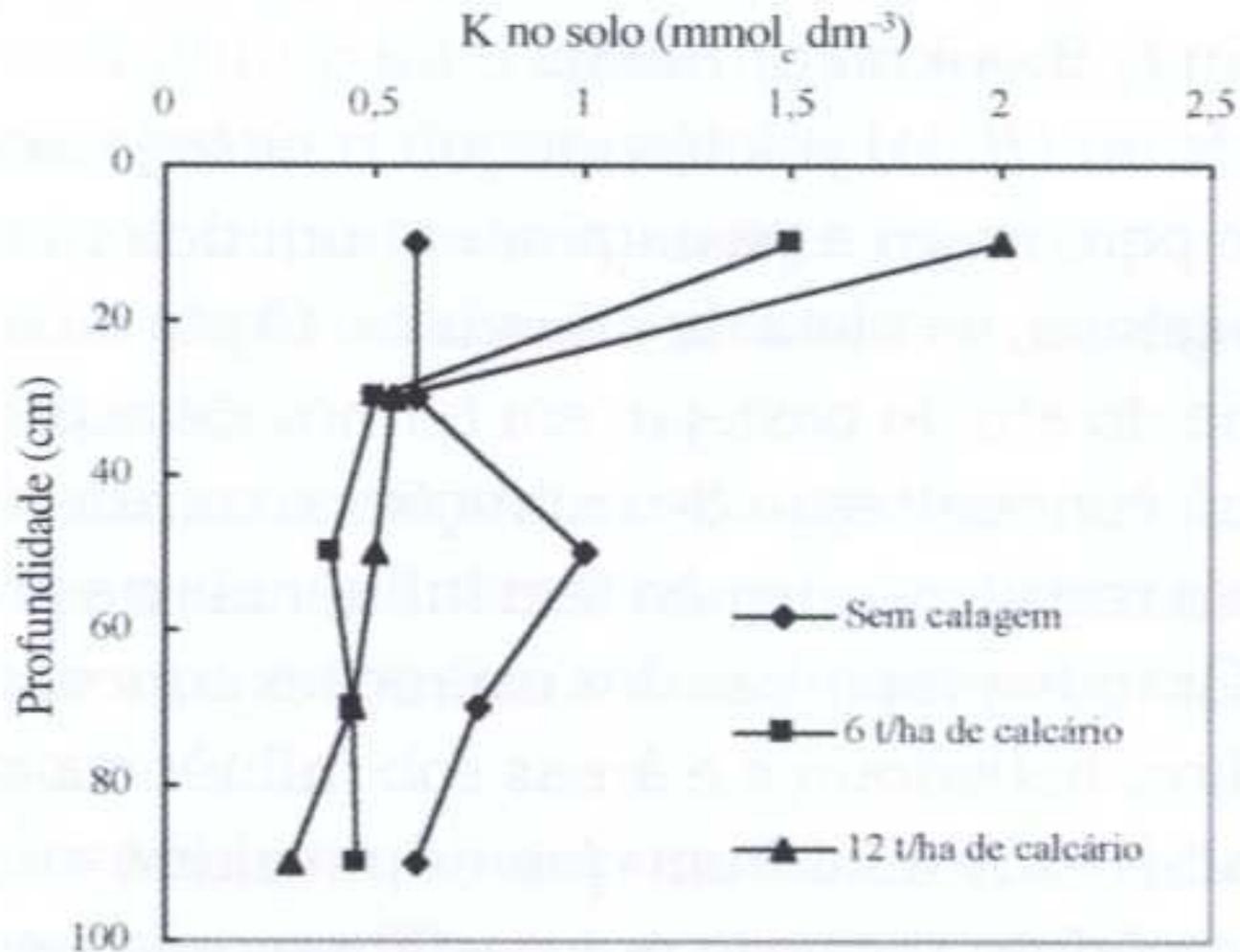


Figura 6. Efeitos da calagem na retenção de potássio em camadas de um cambissolo álico (Quaggio et al., 1991).

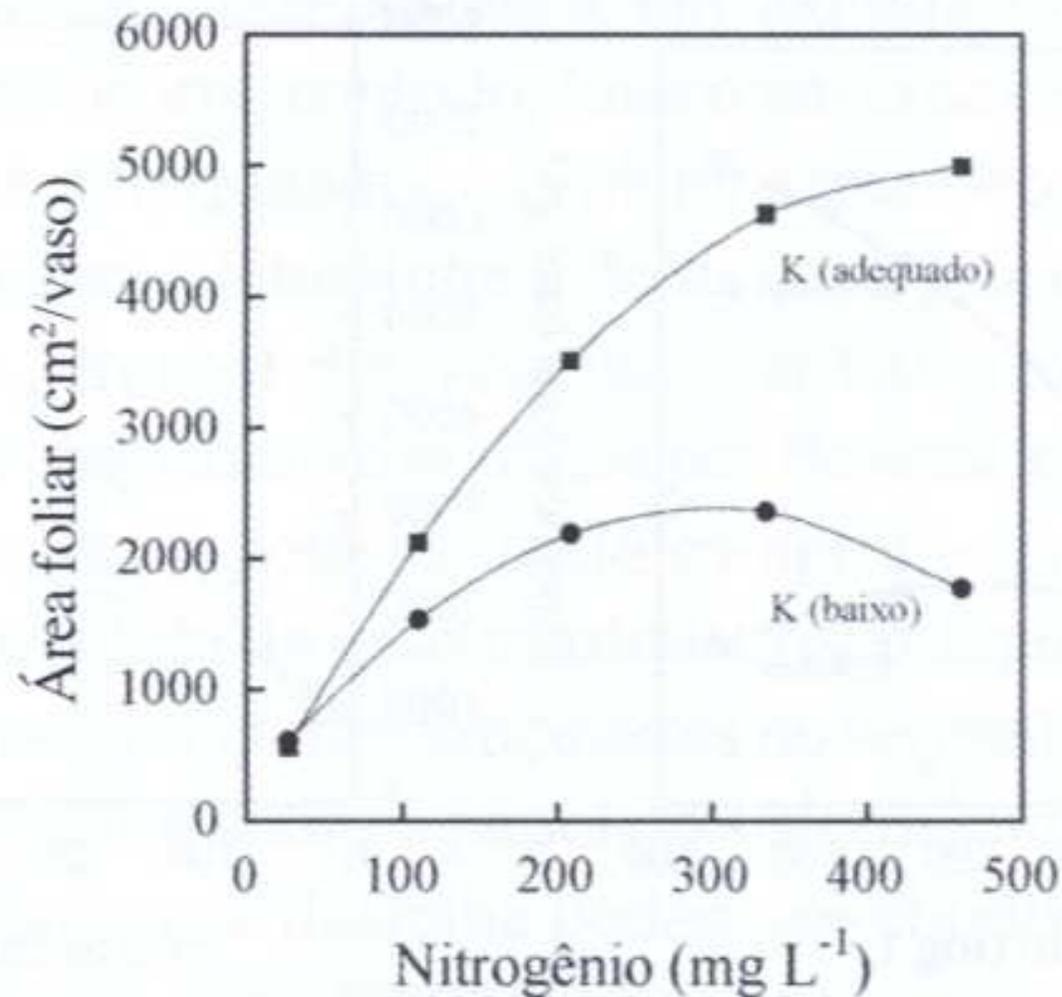


Figura 8. Área foliar do capim Mombaça em função do suprimento de nitrogênio e potássio (adaptado de Lavres Júnior & Monteiro, 2003).

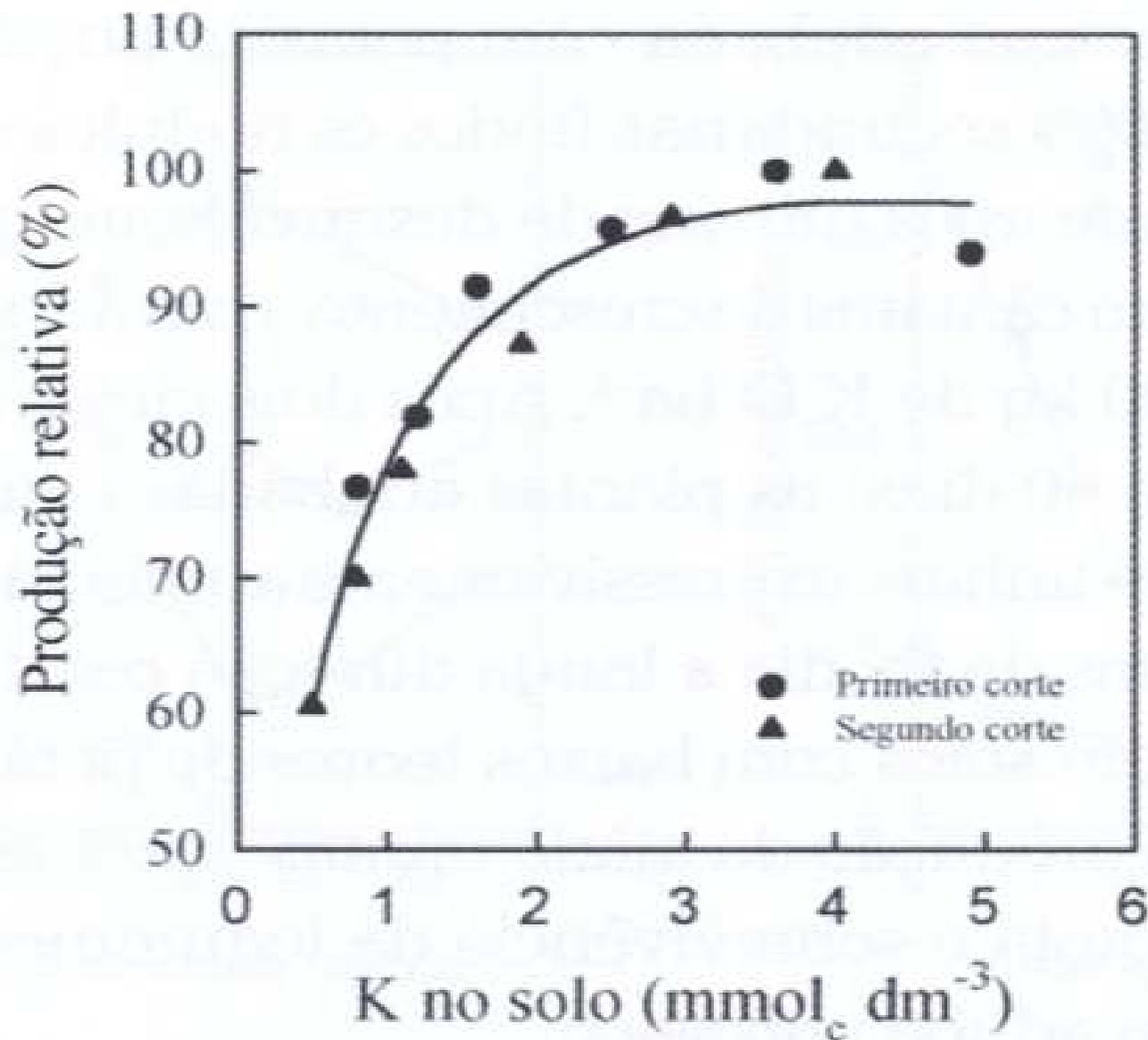


Figura 10. Relação entre as concentrações de potássio no solo e a produção relativa de alfafa (Borges et al., 1999).



CÁLCIO

- Macronutriente secundário;
- Elemento de ocorrência generalizada na natureza



DISPONIBILIDADE

- De modo geral, as plantas têm maior limitação devido a acidez do solo do que pela falta de Ca;
- Determinado o teor trocável;
- Absorção de Ca^{2+} principalmente por fluxo de massa;
- Deficiência de Ca observada somente em algumas culturas mais exigentes (maçã, tomate, citros, amendoim);



Deficiência de cálcio em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



MAGNÉSIO

- Macronutriente secundário;
- Nutriente que pode reduzir sensivelmente a produção;



- Elemento central da molécula de clorofila (fotossíntese);
- Elemento é móvel no floema da planta;
- Deficiência: clorose internerval nas folhas mais velhas;
- Deficiências agravadas com altas doses de K.



Deficiência de magnésio em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



ENXOFRE

- * Macronutriente secundário;
- * Atualmente, encontradas deficiências devido ao uso cada vez mais freqüente de fertilizantes concentrados e o aumento da produtividade



DISPONIBILIDADE

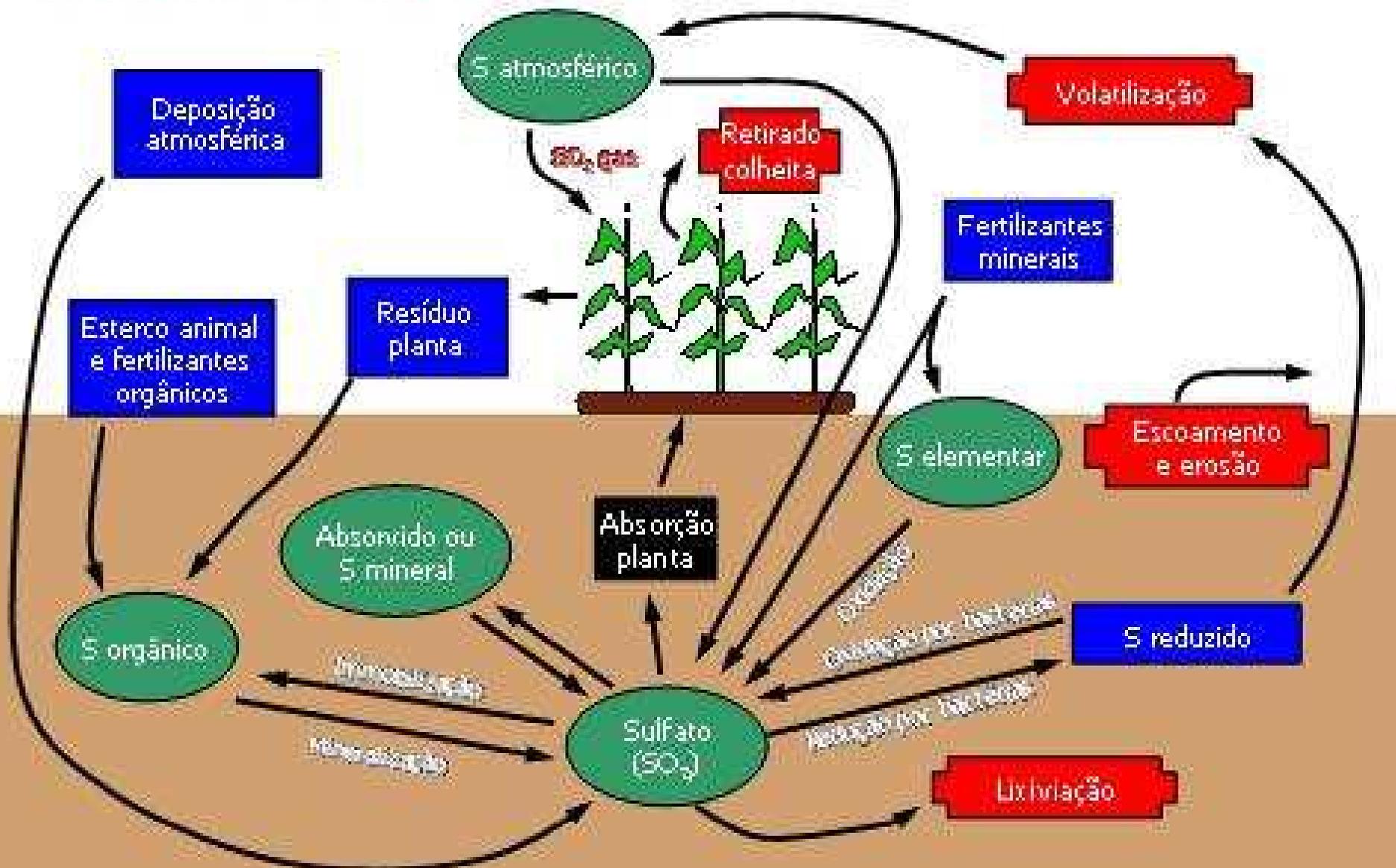
- Absorvido pelas plantas na forma aniônica SO_4^{2-} ;
- Em solos com óxidos de Fe e Al, além de caulinita, pode haver adsorção específica de SO_4^{2-} .

Ciclo do Enxofre

Componentes

Entrada

Saída





ENXOFRE



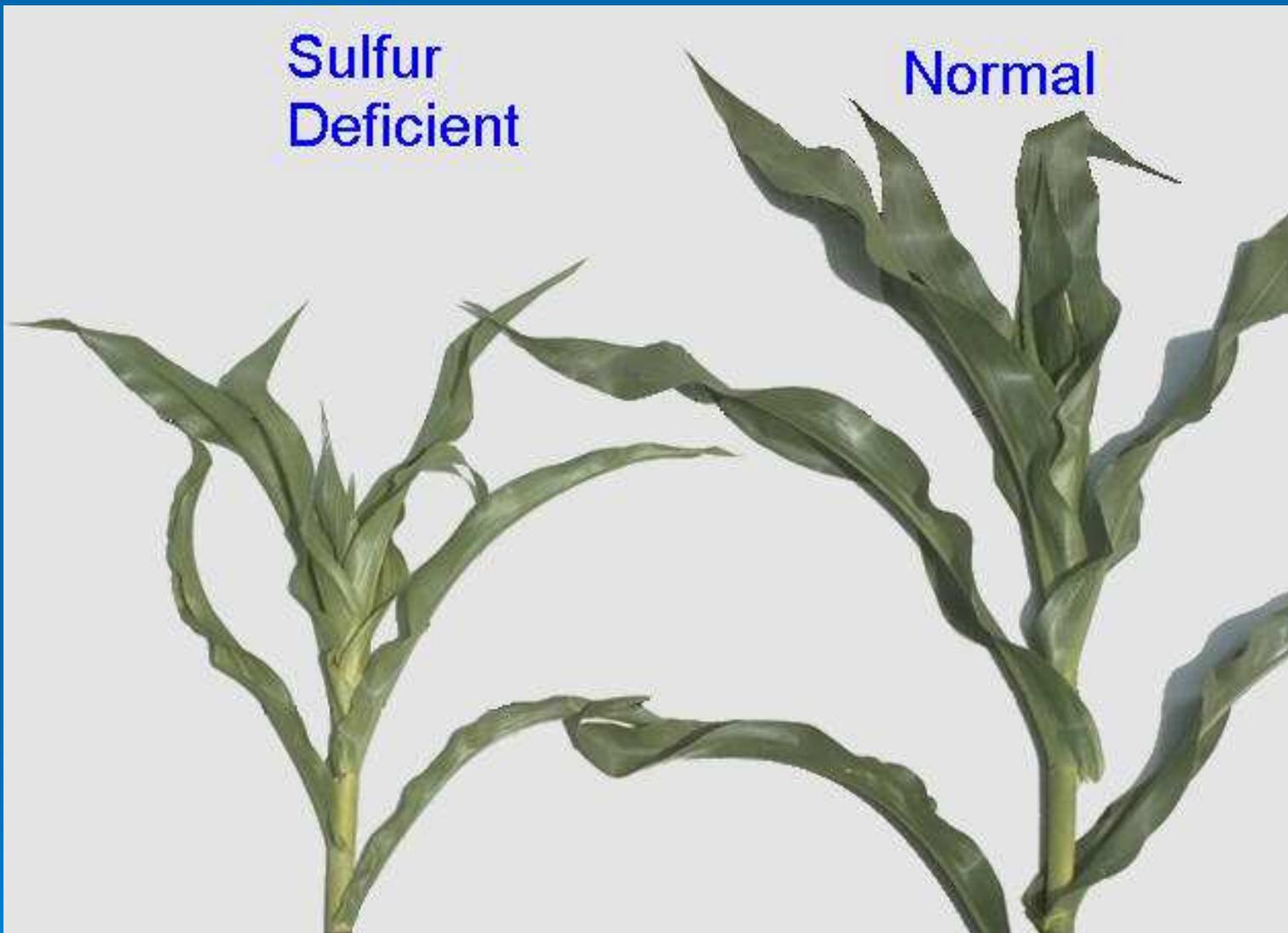
ENXOFRE PARA AS CULTURAS

- Na planta, o enxofre encontra-se em sua maior parte nas proteínas;
- Participa de dois aminoácidos essenciais: cistina e metionina;
- A deficiência de S nas plantas apresentam crescimento retardado e clorose iniciada pelas folhas mais novas.



Sulfur
Deficient

Normal



Deficiência de enxofre no milho



Experimento com *Brachiaria brizantha* MG5



Completo -N -P -K -S S/A

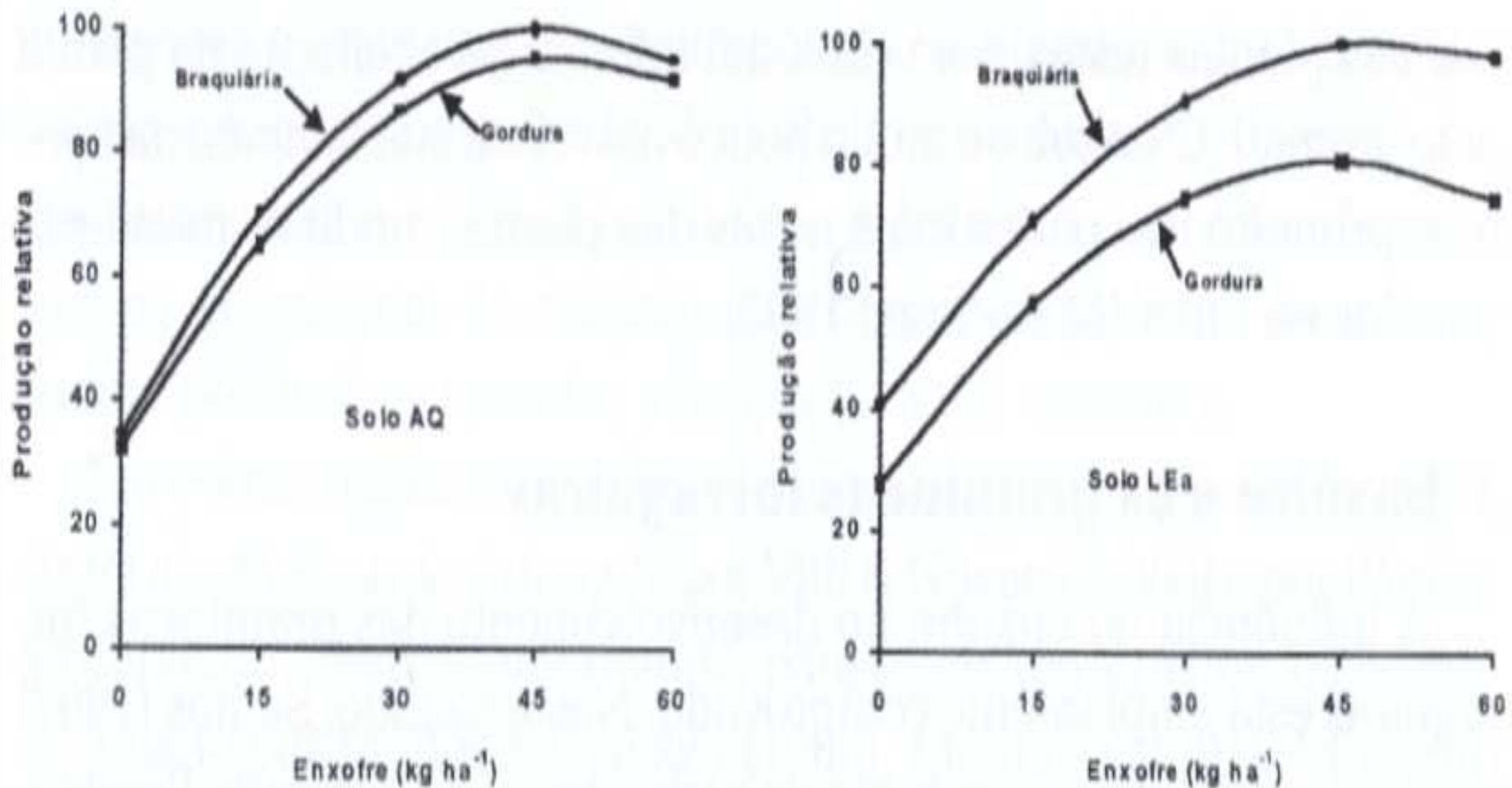


Figura 1. Produção relativa de massa seca da parte aérea dos capins Braquiária e Gordura, em dois solos do Mato Grosso do Sul. Adaptado de Casagrande & Souza (1982).

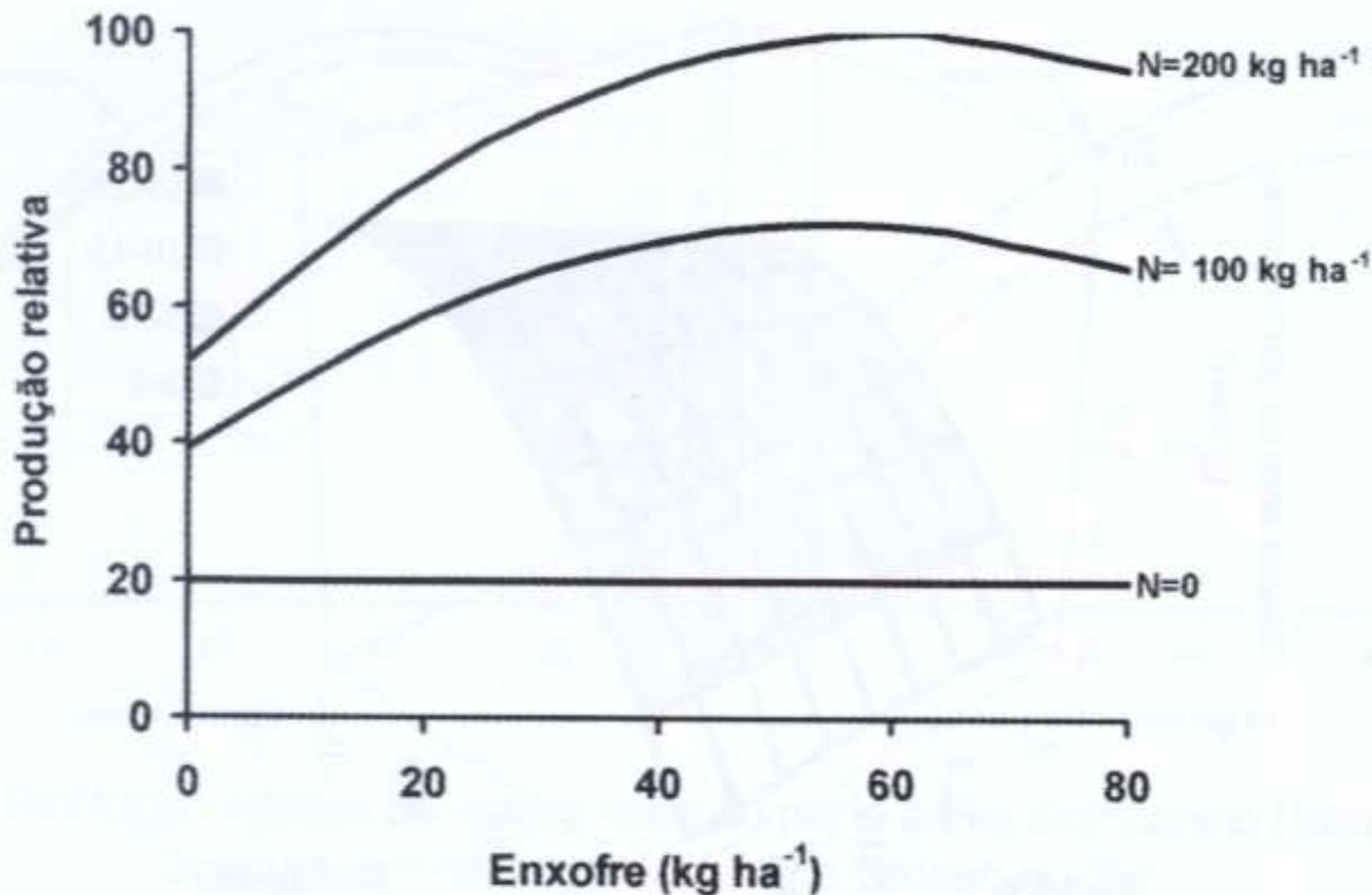


Figura 3. Produção relativa de massa seca do capim Colonião, em função das adubações com doses de nitrogênio e de enxofre. Adaptado de Haddad (1983).



MICRONUTRIENTES

- Boro
- Cloro
- Cobre
- Ferro
- Manganês
- Molibdênio
- Zinco



Introdução



- Pequenas quantidades exigidas pelas culturas;
- Calagem deixa a maior parte dos micronutrientes menos disponíveis para as culturas;
- Solos das regiões de cerrado, muito são originalmente deficientes;
- Tendência de agravamento das deficiências de micronutrientes.



Boro



Fatores que Afetam a Disponibilidade

- pH: Valores mais elevados o elemento se torna menos disponível;
- Textura: Solos argilosos → maior adsorção → dificulta a absorção;
- Cálcio: Interações na planta;
- Água: condições de seca → maior deficiência → provavelmente pela menor liberação pela matéria orgânica.



Boro

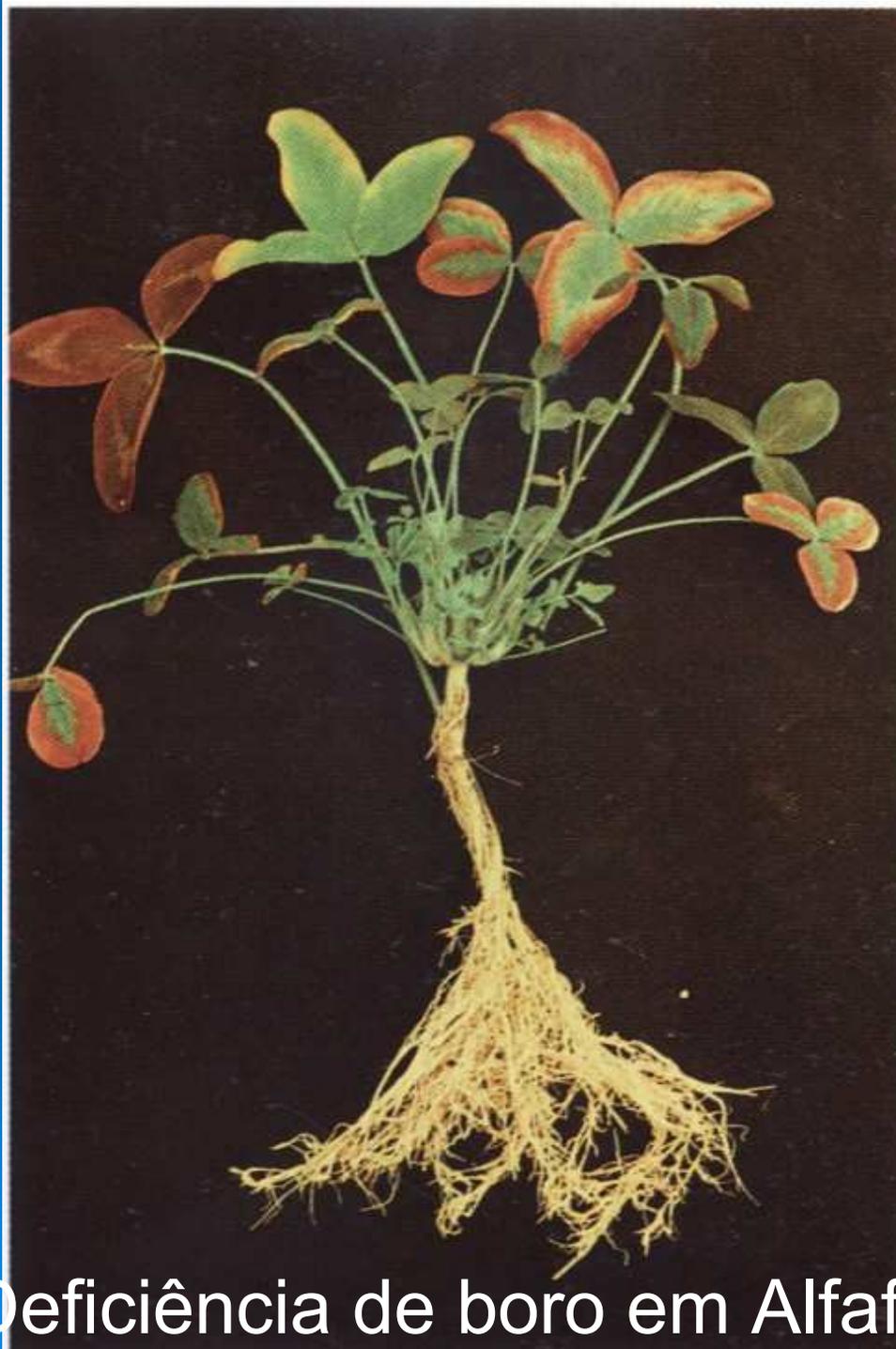
Nas Plantas

- Nas plantas o B não é translocado das partes mais velhas para tecidos meristemáticos das raízes ou das partes aéreas;
- Sintomas de deficiência: morte da gema apical e folhas novas, as raízes são afetadas e adquirem áreas escuras em sua parte central;
- Excesso: queima das margens das folhas.



Deficiência de boro em Alfafa

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de boro em Alfafa. Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de boro em Alfafa

Fonte: Bergmann, 1992.



Cloro

Nas Plantas

- Absorvido na forma de Cl^- da solução do solo;
- Sintomas de deficiência: depende da planta: **Folhas mais velhas**: tomateiro, repolho, beterraba, alface; **Folhas mais novas**: milho, abobrinha; Ocorre um murchamento, clorose, bronzeamento e deformação da folha e as raízes curtas;
- Excesso: amarelecimento prematuro, necrose das pontas e margens foliares.



Cobre



Fatores que Afetam a Disponibilidade

- A complexação pela matéria orgânica afeta muito a disponibilidade para as plantas;
- Solubilidade do Cu é reduzida com a elevação do pH;
- Disponibilidade reduzida pelo excesso de Fe, Mn e Al.



Cobre

Nas Plantas

- Absorvido na forma Cu^{2+} ;
- Sintomas de deficiência: folhas mais novas, perdem a cor verde, tornando-se definhadas, com o avanço as folhas mais novas tornam-se pálidas;
- Excesso: pode causar deficiência de Fe.



Deficiência de cobre em trigo Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de cobre em aveia

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de cobre em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de cobre em rosas

Fonte: Bergmann, 1992.



Ferro



Fatores que Afetam a Disponibilidade

- Disponibilidade reduzida pela elevação do pH;
- Deficiência pode ocorrer em solos alcalinos;
- Excesso de fósforo;



Ferro

Nas Plantas

- Absorvido na forma Fe^{2+} ;
- Sintomas de deficiência: clorose nas folhas novas, reticulado fino, que rapidamente estende-se por toda folha;
- Excesso: manchas necróticas nas folhas.



Deficiência de ferro em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Manganês



Fatores que Afetam a Disponibilidade

- Disponibilidade do Mn é reduzida pela elevação do pH;
- Teores elevados de matéria orgânica → complexação → tendendo a apresentar deficiência;
- Solos arenosos, baixa CTC e alta pluviosidade maiores problemas com deficiência;
- Excesso de Ca, Mg e Fe podem provocar deficiência.



Manganês

Nas Plantas

- Absorção é na forma de Mn^{2+} ;
- Nas plantas é relativamente imóvel;
- Sintomas de deficiência: folhas mais novas, reticulado grosso;
- Excesso: folhas encarquilhadas, menor nodulação em leguminosas.



Deficiência de manganês em aveia

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de manganês em aveia

Fonte: Bergmann, 1992.



Molibdênio

Nas Plantas



- Absorvido na forma de MoO_4^{2-} quando o pH do meio é igual ou maior que 5 e como HMoO_4^- quando a acidez for maior;
- Sintomas de deficiência: clorose, encurvamento ou estrangulamento do limbo em folhas mais velhas ou meia idade fisiológica;
- Excesso: pode apresentar glóbulos amarelo ouro na ápice da planta (tomateiro).



Deficiência de molibdênio em cana

Fonte: J.E. Bowen



Zinco



Fatores que Afetam a Disponibilidade

- Disponibilidade do Zn é menor com a elevação do pH;
- Fortemente retido em solos argilosos, podendo promover a deficiência;
- Fosfatos tendem a reduzir a solubilidade de Zn.



Zinco

Nas Plantas

- Absorção pelas plantas é na forma de Zn^{2+} ;
- Sintomas de deficiência: diminuição no comprimento dos internódios, ocorrendo a formação de rosetas na final de ramos novos, folhas novas pequenas, estreitas e alongadas;
- Excesso: pode induzir deficiência de ferro.



Deficiência de zinco em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Deficiência de zinco em milho

Fonte: Bergmann, 1992.



Tabela 2. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos. Fonte: Raij et al. (1996).

Teor	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	água quente	DTPA			
	mg dm ⁻³				
Baixo	0 - 0,20	0 - 0,2	0 - 4	0 - 1,2	0 - 0,5
Médio	0,21 - 0,60	0,3 - 0,8	5 - 12	1,3 - 5,0	0,6 - 1,2
Alto	> 0,60	> 0,8	> 12	> 5,0	> 1,2



Tabela 1. Valores de pH, porcentagem de saturação por bases, teores de manganês e zinco extraíveis* de um solo da Ilha de Marajó e concentrações de manganês e zinco nas folhas da *Brachiaria humidicola*. Fonte: Guimarães (2000).

Solo				Planta	
pH	V	Mn	Zn	Mn	Zn
CaCl ₂	(%)	mg dm ⁻³		mg dm ⁻³	
3,77	9,91	15,50	1,93	249,3	103,2
4,65	29,58	11,25	1,23	218,3	78,12
5,35	48,28	7,83	0,95	200,7	75,7
5,84	66,68	6,11	0,78	195,3	70,7
6,07	87,29	5,25	0,75	193,4	64,3

* Extrator: Solução de HCl 0,1 mol L⁻¹.

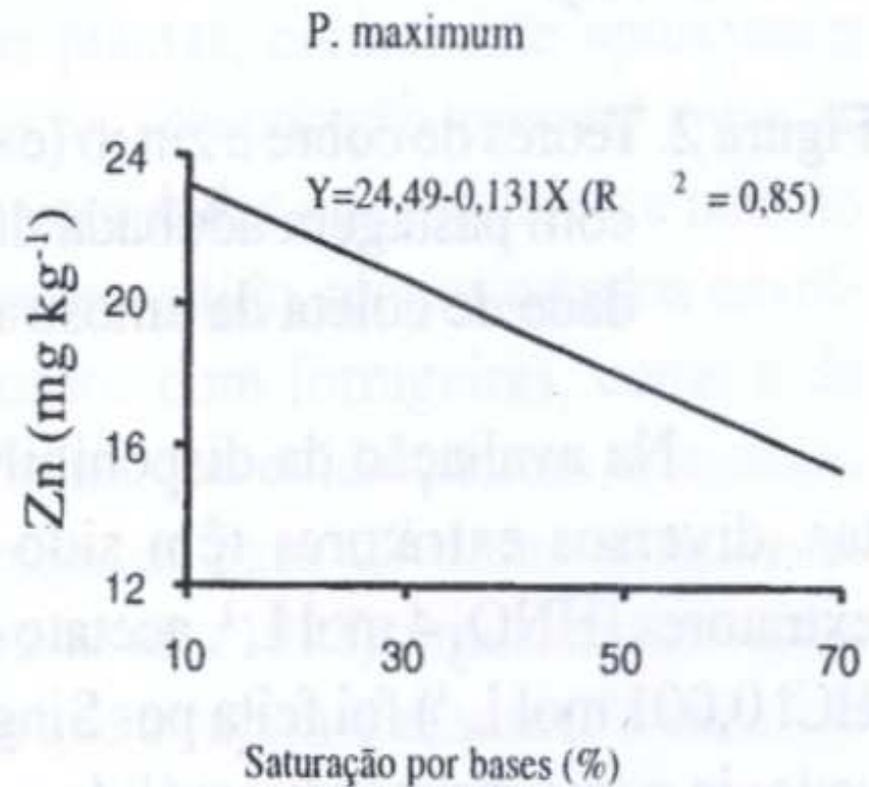
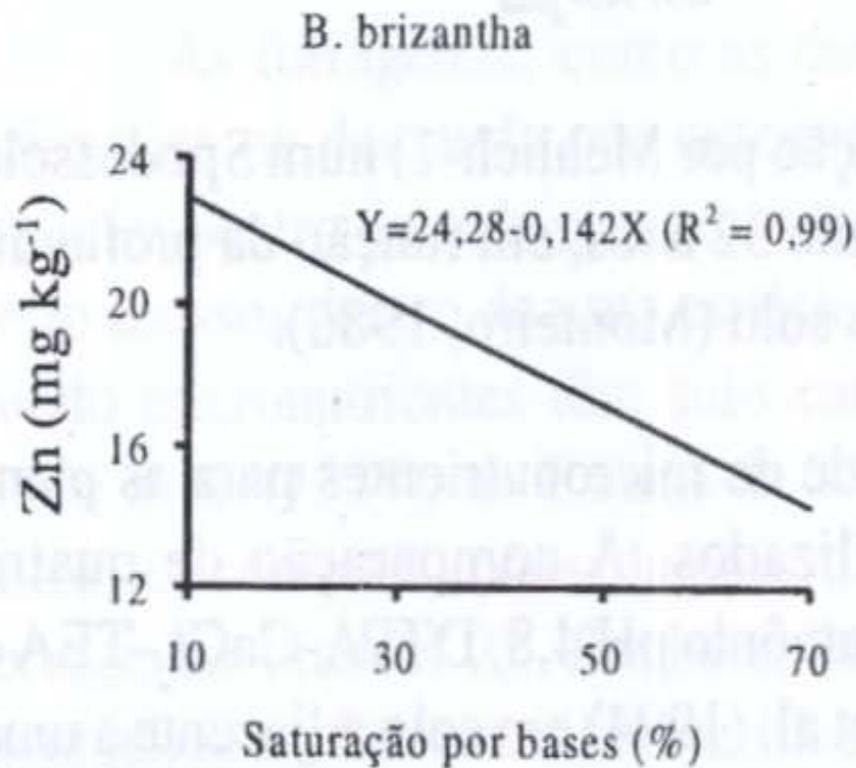


Figura 1. Concentração de zinco na parte aérea de *Brachiaria brizantha* e de *Panicum maximum*, em função da variação na acidez do solo (preparado a partir de Premazzi, 1991).

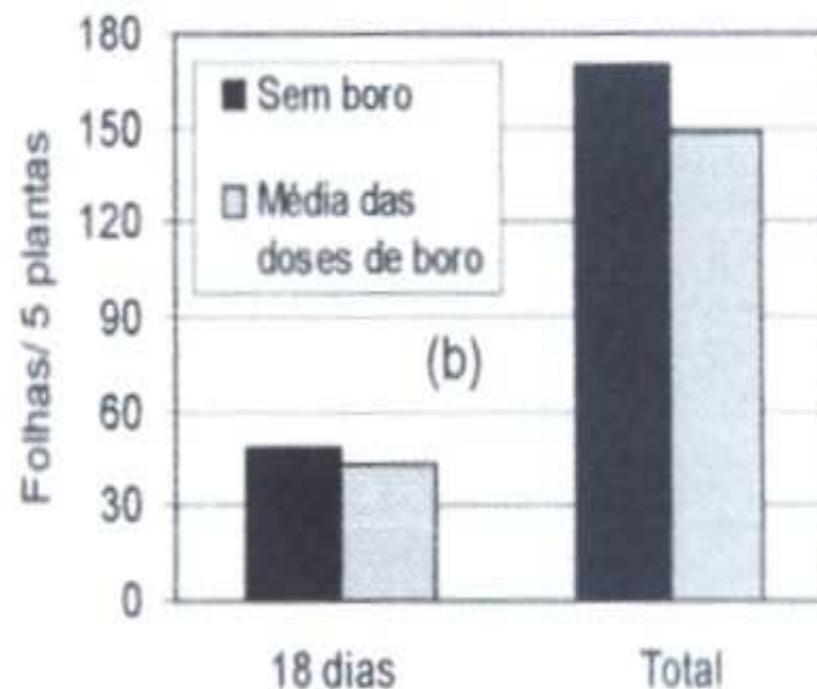
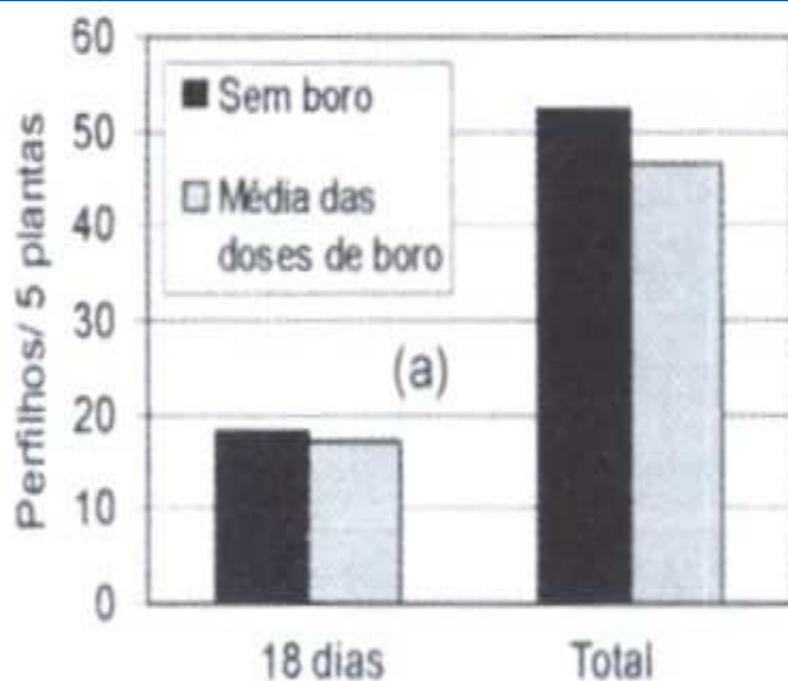


Figura 4. Número de perfilhos (a) e de folhas (b) do capim Aruana em duas épocas de crescimento e em função do fornecimento ou não de boro.

Fonte: Monteiro et al. (2003).

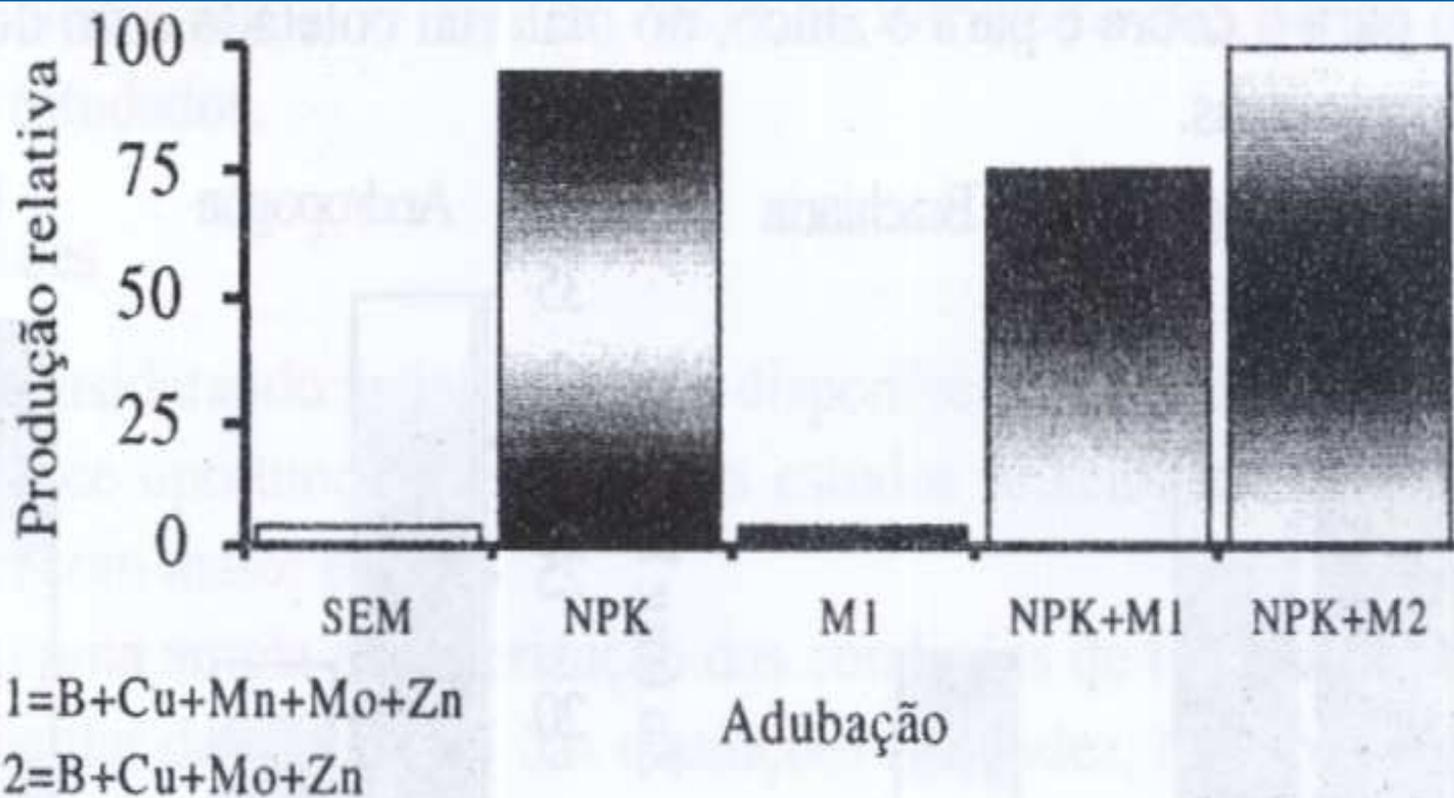


Figura 4. Produção relativa de matéria seca do capim-colonião em função da adubação com NPK e micronutrientes (M1 ou M2) em um Latossolo Vermelho-Amarelo (adaptado de Novaes, 1977).

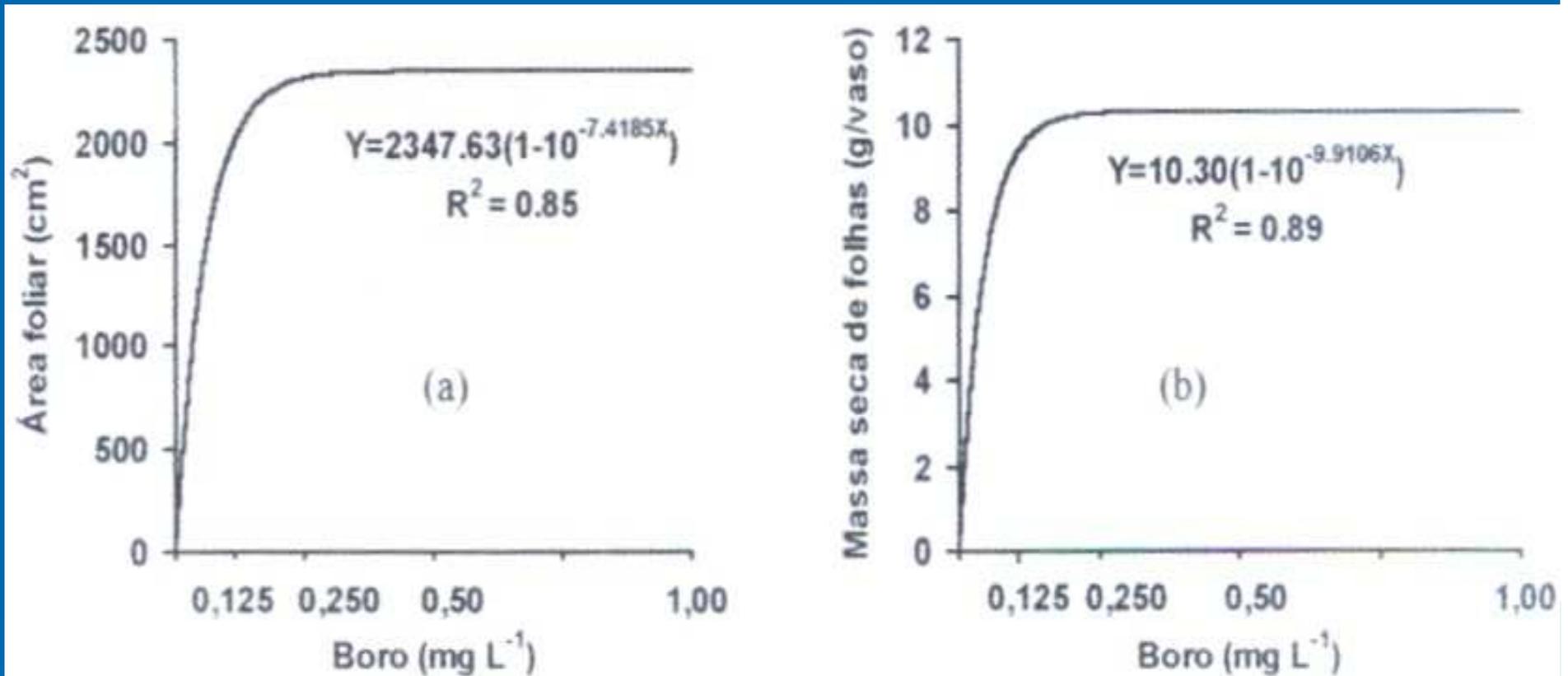


Figura 5. Área foliar (a) e massa seca de folhas (b) do capim Aruana em função das doses de boro.

Fonte: Monteiro et al. (2003).

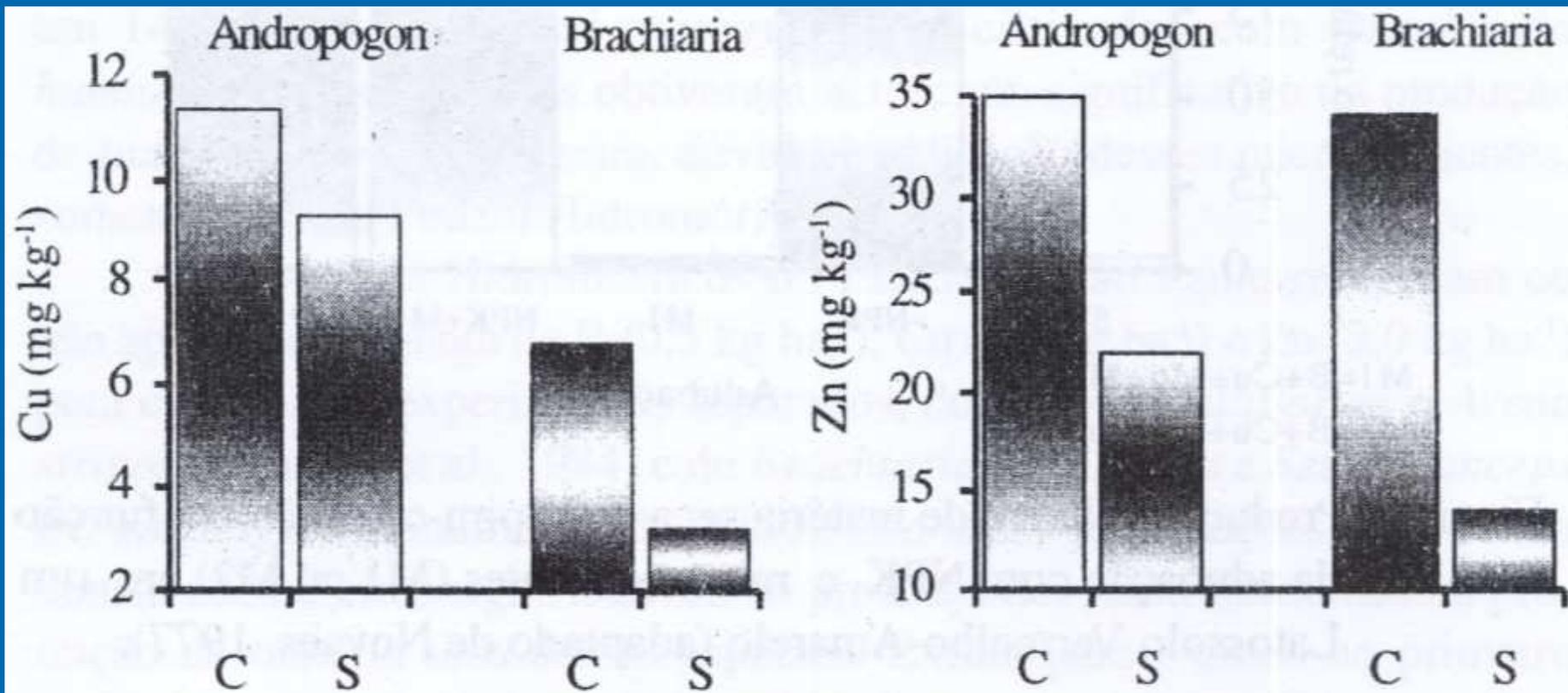
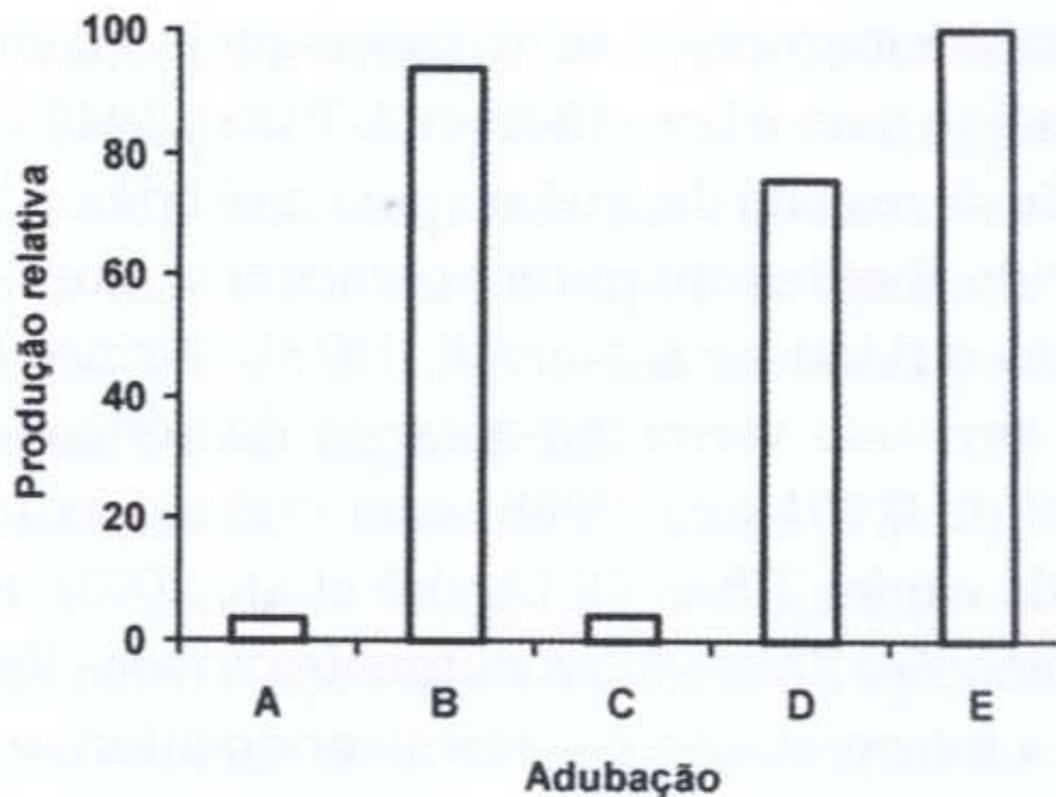


Figura 5. Concentração de cobre e de zinco na parte aérea do primeiro corte do andropógon e da braquiária Marandu, em função da aplicação (C) ou não (S) de micronutrientes (Morikawa, 1993).



A - Sem B - NPK C - B+Cu+Mn+Mo+Zn D - NPK+B+Cu+Mn+Mo+Zn E - NPK+B+Cu+Mo+Zn

Figura 6. Produção relativa de massa seca de capim Colonião, mediante adubações de um latossolo de campo cerrado.

Adaptado de Novaes (1977).



MUITO OBRIGADO

Contado: Reges Heinrichs

UNESP – Dracena

Fone: (18) 3821 8200

E-mail: reges@dracena.unesp.br



GRUPO DE EXPERIMENTAÇÃO EM
NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE
PLANTAS