

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

# A Cultura do Arroz no Brasil

*2ª Edição  
Revisada e ampliada*

Alberto Baêta dos Santos  
Luís Fernando Stone  
Noris Regina de Almeida Vieira  
**Editores Técnicos**

*Embrapa Arroz e Feijão  
Santo Antônio de Goiás, GO  
2006*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

**Embrapa Arroz e Feijão**

Rod. GO 462, Km 12  
Caixa Postal 179  
CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás , GO  
Fone: (62) 3533-2110  
Fax: (62) 3533-2100  
sac@cnpaf.embrapa.br  
www@cnpaf.embrapa.br

**Embrapa Informação Tecnológica**

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)  
Fone: (61) 3340-9999  
Fax: (61) 3340-2753  
CEP 70770-901 - Brasília, DF  
vendas@sct.embrapa.br  
www.sct.embrapa.br

**Supervisor Editorial:** *Marina A. Souza de Oliveira*

**Revisor de Texto:** *Noris Regina de Almeida Vieira*

**Normalização Bibliográfica:** *Ana Lúcia Delalibera de Faria*

**Tratamento das Ilustrações:** *Sebastião José de Araújo e Fabiano Severino*

**Editoração Eletrônica:** *Fabiano Severino*

**1ª edição**

1ª impressão (1999): 1.000 exemplares

**2ª edição**

1ª impressão (2006): 2.000 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 Arroz e Feijão

---

A cultura do arroz no Brasil / editores, Alberto Baêta dos Santos, Luís Fernando Stone, Noris Regina de Almeida Vieira. - 2. ed. rev. ampl. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 85-7437-030-4

1. Arroz - Produção. 2. Arroz - Tecnologia. 3. Arroz - Pesquisa. I. Santos, Alberto Baêta dos, *ed.* II. Stone, Luís Fernando, *ed.* III. Vieira, Noris Regina de Almeida, *ed.* IV. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 633.18 (21. ed.)

---

© Embrapa 2006

# Adubação e Calagem

*Nand Kumar Fageria*

**RESUMO** - O sistema solo-planta é de natureza dinâmica e influenciado por fatores ambientais, sendo, portanto, bastante complexo. As recomendações de adubação e calagem devem ser baseadas nos dados experimentais para cada solo e região agroclimática. Com o lançamento de novas cultivares, pode haver necessidade de compatibilizar as práticas de manejo da cultura e, conseqüentemente, as recomendações de adubação e calagem. É necessário avaliar as respostas das cultivares para fins de recomendação. Para a cultura do arroz, o fósforo (P) é o nutriente mais deficiente na maioria dos solos brasileiros, principalmente nos solos dos Cerrados. Para a cultura do arroz de terras altas, seguem-se ao P, em ordem decrescente de importância, o nitrogênio (N), o potássio (K) e o zinco (Zn). Em algumas situações, o arroz é plantado após os cultivos de feijoeiro ou de soja, para os quais foi aplicado calcário em quantidade suficiente (pH em torno de 6), podendo ocorrer deficiência de ferro (Fe). Para a cultura do arroz irrigado, a importância dos nutrientes em solos de várzea segue a ordem  $N > P > K$ . Existe o problema de toxicidade de Fe, devido às condições reduzidas do solo inundado. A cultura do arroz é bastante tolerante à acidez do solo e, por isso, a prática da calagem deve ser considerada apenas quando o arroz for plantado em sistema de rotação.

## INTRODUÇÃO

Uma agricultura moderna exige o uso de fertilizantes e corretivos em quantidades adequadas, a fim de atender a critérios racionais que permitam conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais do solo e do ambiente e com a expressão máxima do potencial produtivo das culturas (Fageria, 1989; Raji, 1991).

Estudos realizados na Embrapa Arroz e Feijão revelam que, em condições de boa umidade, a adubação pode aumentar em até 40% a produtividade do arroz de terras altas (Embrapa, 1984). Em arroz irrigado, a adubação pode aumentar ainda mais a produtividade, devido ao ambiente mais favorável. Se usada no nível adequado, a adubação representa, em média, 30% do custo de produção da cultura do arroz. Com isso, a otimização da eficiência nutricional é fundamental para aumentar a produtividade e reduzir o custo de produção e a poluição ambiental. A melhor maneira para racionalizar o uso de adubos e corretivos é ter como base os resultados de pesquisa para cada cultura em uma determinada região agroclimática. Neste capítulo, além dos



conceitos básicos de fertilidade do solo, são apresentados dados experimentais de adubação e de calagem para a cultura do arroz sob condições brasileiras.

## CONCEITOS BÁSICOS DE FERTILIDADE DO SOLO

A fertilidade do solo refere-se à capacidade desse solo em fornecer os nutrientes essenciais, em quantidades e proporções adequadas, para o crescimento da planta (Fageria, 1989). Às vezes, a palavra fertilidade é confundida com produtividade do solo. Produtividade é a capacidade de produzir sob determinadas condições de manejo. Um solo pode ser fértil, sem ser necessariamente produtivo, considerando-se outros fatores limitantes da produção.

Justus von Liebig, químico alemão, formulou, em 1862, um novo conceito sobre fertilidade do solo, a chamada “lei do mínimo”, segundo a qual o crescimento da planta é limitado por aquele nutriente que ocorre em menor proporção, sendo ele o único a limitar a produção. A lei do mínimo, no entanto, tem uma aplicação restrita, uma vez que em casos onde vários nutrientes são deficientes, a adição de qualquer um deles levará a aumentos de produção. Além disso, o comportamento dos nutrientes de pouca mobilidade difere daquele dos nutrientes móveis no solo (Rajj, 1991; Fageria et al., 1997a).

No início deste século, Robertson (1907), Mitscherlich (1909) e Spillman & Lang (1924), citados por Westerman & Tucker (1987), observaram que o crescimento da planta é afetado por vários fatores e segue uma curva do tipo sigmóide em relação à idade da planta (Fig. 12.1). Foram envidados muitos esforços para definir os parâmetros envolvidos na curva de crescimento, a fim de desenvolver uma equação matemática. Os trabalhos de Mitscherlich e Spillman levaram ao desenvolvimento da “lei dos incrementos decrescentes”. De acordo com essa lei, ao adicionar quantidades sucessivas de um nutriente, o maior incremento em produção é obtido com a primeira quantidade aplicada. Com aplicações sucessivas de quantidades iguais do nutriente, o incremento de produção é cada vez menor.

A expressão matemática da equação de Mitscherlich é a seguinte:

$$dY/dX = (A - Y) C$$

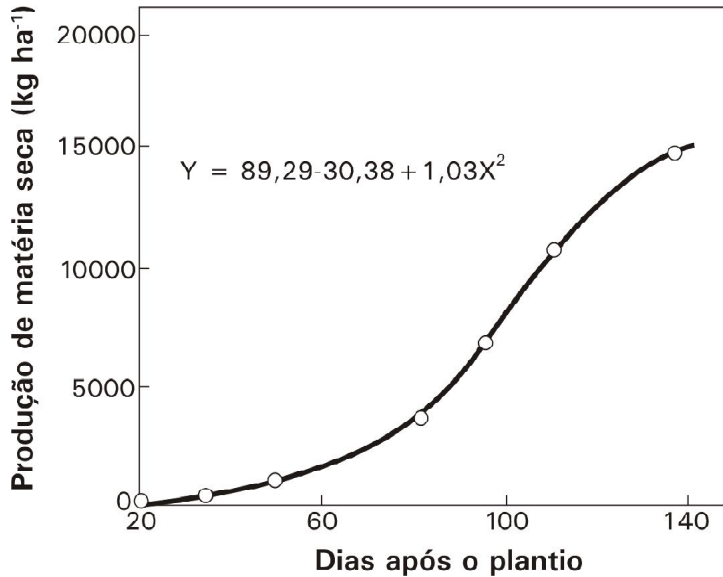
onde: **Y** = produção; **X** = quantidade de nutriente; **A** = produção máxima; **C** = constante.



Ainda segundo trabalhos de pesquisa de Spillman & Lang (1924), a equação de Mitscherlich pode ser assim reduzida:

$$\log (A-Y) = \log A - CX \quad \text{ou}$$

$$\log (A-Y) = \log A \cdot 10^{-CX}$$



**Fig. 12.1.** Produção de matéria seca de arroz irrigado durante o período de crescimento.

Fonte: Adaptada de Fageria (1980).

A forma exponencial, também bastante usada, é a seguinte:

$$Y = A(1-10^{-CX})$$

Bray (1954) e sua equipe, trabalhando na Universidade de Illinois, nos Estados Unidos, apresentaram o conceito de mobilidade de nutriente, pela modificação da equação desenvolvida por Mitscherlich:

$$\log (A-Y) = \log A - C_1b - C_2X$$

onde: **A** = produção obtida quando todos os nutrientes estão presentes em quantidades adequadas; **Y** = produção obtida com a aplicação de **b**; **C<sub>1</sub>** = constante, representando a eficiência de **b**; **b** = quantidade de nutriente imóvel mas disponível, determinada pelo extrator apropriado; **C<sub>2</sub>** = fator de eficiência determinado pelo experimento para o método de aplicação de fertilizante; e **X** = quantidade de nutriente (**b**) aplicado como fertilizante.



## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS DOS CERRADOS E DE VÁRZEAS

A maior área de produção de arroz de terras altas no Brasil está localizada em solos dos Cerrados, e a de arroz irrigado, em solos de várzea. Assim, antes de discutir o aspecto de adubação e calagem, é importante discorrer sobre as características físicas e químicas desses solos. As principais classes de solos que ocorrem na região dos Cerrados estão descritas no Capítulo 6.

Os solos dos Cerrados são formados predominantemente de argilas de látice 1:1 (caulinita, gibbsita, óxidos livres de ferro, alumínio e titânio e minerais insolúveis, como o quartzo). Os solos dos Cerrados apresentam condições físicas adequadas para o crescimento das plantas (Lopes, 1983; Fageria, 1994). Sua friabilidade, porosidade e permeabilidade facilitam o crescimento das raízes, principalmente devido a sua profundidade. Por outro lado, apresentam baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e, às vezes, níveis tóxicos de alumínio (Al) e manganês (Mn). A deficiência de N, P, K, cálcio (Ca), magnésio (Mn) e Zn é muito comum no cultivo de espécies anuais (Fageria & Breseghello, 2004). Trabalho realizado na Embrapa Arroz e Feijão evidenciou que, para a produção de culturas anuais, como arroz, feijoeiro, milho, trigo e soja, o P é o elemento mais limitante em solos dos Cerrados (Fageria, 1994; Fageria & Baligar, 1997; Fageria & Breseghello, 2004). As principais características químicas de alguns solos dos Cerrados são relacionadas na Tabela 12.1.

Existem no Brasil cerca de 35 milhões de hectares de várzeas irrigáveis, e a maioria ainda não é utilizada para a produção agrícola (IICA, 2000). As áreas de várzea apresentam solos aluviais e/ou hidromórficos, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, fertilidade média a alta, facilmente irrigáveis, na maioria dos casos até por gravidade, inundadas temporariamente ou não (margens de córregos, rios, vales úmidos), apresentando muitas vezes umidade excessiva, necessitando de drenagem (Lamster, 1980).

Os solos de várzea são encontrados em planícies próximas de rios e lagos onde se desenvolveram sobre sedimentos. Como tais sedimentos apresentam grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, esses solos apresentam grande variação nas características físicas e químicas. Na Tabela 12.2 são apresentadas as características químicas e granulométricas de solos de várzea de alguns estados brasileiros.



**Tabela 12.1.** Características químicas de alguns solos cerrados, na camada de 0-20 cm de profundidade.

Local	M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca			Mg			Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Cu				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn
					Ca	Mg	Al	Cu	Zn	Fe		Mn						
Faz. Âncora - Primavera do Leste (MT)	7	5,2	0,4	8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	144	5	
Faz. Cachoerinha - Gurupi (TO)	18	5,1	4,7	77	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	1,4	174	79		
Faz. Curral Novo - Unai (MG)	14	5,0	1,0	73	1,0	0,5	2,3	1,3	0,9	2,3	2,3	1,3	0,9	0,9	237	76		
Faz. Capivara – Santo Antônio de Goiás (GO)	23	5,0	0,9	45	0,5	0,3	1,2	1,8	0,8	1,2	1,2	1,8	0,8	0,8	165	16		
Faz. Brasil – Santa Cruz (GO)	12	5,2	1,4	42	0,4	0,3	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	76	3		
Faz. Anjo da Guarda - Porangatu (GO)	14	5,0	1,0	86	0,3	0,4	0,8	1,2	0,3	0,8	0,8	1,2	0,3	0,3	83	4		
Faz. Melâneas – Morrinhos (GO)	16	5,2	2,0	40	0,5	0,7	0,6	2,3	0,2	0,6	0,6	2,3	0,2	0,2	53	24		
Faz. Serra da Pintura - Jussara (GO)	5	4,9	0,9	16	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	100	36		
Faz. Pouso Alegre - Barro Alto (GO)	13	5,1	1,0	110	0,9	1,1	1,6	0,9	0,4	1,6	1,6	0,9	0,4	0,4	99	50		
Faz. Paraíba – Silvânia (GO)	12	5,1	1,3	64	0,3	0,4	1,9	0,9	0,4	1,9	1,9	0,9	0,4	0,4	143	7		
Faz. Rincão Três Ranchos– Sen. Canedo (GO)	13	5,2	1,0	42	1,0	1,0	1,3	2,2	1,6	1,3	1,3	2,2	1,6	1,6	176	49		
Faz. Jacobá – Amorinópolis (GO)	10	5,2	0,3	28	0,4	0,6	0,6	0,1	0,3	0,6	0,6	0,1	0,3	0,3	71	8		
Média	13	5,1	1,3	53	0,6	0,6	1,0	1,1	0,6	1,0	1,0	1,1	0,6	0,6	127	30		

Fonte: Fageria (1994).





**Tabela 12.2.** Características químicas e texturais de solos de várzeas de alguns estados brasileiros, na camada de 0-20 cm de profundidade.

Estado	M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			Sat.base (%)	Sat.AL	(mg kg <sup>-1</sup> )			Argila (g kg <sup>-1</sup> )				
						Mg	Na	Al			CTC	Cu	Zn		Fe	Mn	Areia	Silte
Goiás (22)	42	5,2	15,2	85	4,7	2,6	2,9	1,5	27	16	7,4	3,0	436	42	350	228	422	
Tocantins (1)	33	5,0	2,2	56	0,6	0,5	-	0,6	12	10	33	0,6	1,0	66	6	410	135	455
Mato Grosso (6)	16	5,1	6,9	68	2,5	1,4	0,1	1,3	12	33	32	1,3	1,4	263	33	408	282	310
M.Grosso do Sul (8)	69	5,3	21,7	75	7,8	3,4	0,1	1,1	27	42	18	11,9	2,5	193	23	394	250	356
Minas Gerais (3)	25	5,0	17,7	133	3,9	1,6	-	0,5	15	42	10	2,9	7,9	627	98	223	184	593
Maranhão (2)	8	4,8	1,9	82	6,7	10,7	-	1,5	29	70	7	0,9	3,7	320	43	118	410	472
Piauí (5)	10	5,6	13,6	115	10,2	6,7	-	0,7	30	81	3	3,4	3,2	382	61	301	335	364
Média	29	5,1	11,3	88	5,2	3,8	1,0	1,0	22	45	17	4,1	3,2	327	44	315	260	425

Valores entre parênteses expressam o número de municípios onde foram feitas amostragens do solo.

Fonte: Fageria et al. (1991, 1994, 1995).



## RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO

A agricultura moderna exige fertilizantes e corretivos em quantidades adequadas, de forma que sejam atendidos os critérios econômicos e, ao mesmo tempo, haja conservação da fertilidade do solo para manter ou elevar a produtividade (Fageria, 1989; Fageria et al., 2003). A elevação dos custos dos fertilizantes nos últimos anos é, provavelmente, irreversível, já que reflete a elevação dos preços de energia, matéria-prima e transporte. Os fertilizantes passam, assim, a constituir um maior dispêndio nos investimentos das atividades agrícolas, merecendo, portanto, atenção especial quanto ao seu uso, com vistas ao melhor aproveitamento pelas culturas. As recomendações de adubação propõem o uso de níveis adequados, métodos, formas e épocas apropriadas de aplicação dos nutrientes essenciais que não estejam presentes no solo em níveis adequados.

Neste item são discutidas as recomendações de adubação com N, P, K e enxofre (S) para as culturas do arroz de terras altas e irrigado, considerados os principais nutrientes limitantes nos solos onde se cultiva arroz (Fageria & Baligar, 1997; Fageria et al., 2003; Fageria & Breseghello, 2004). A deficiência de Zn em arroz de terras altas e a toxicidade de Fe em arroz irrigado são outros problemas nutricionais observados freqüentemente nos solos brasileiros (Fageria et al., 2002). A discussão sobre esses dois elementos é apresentada por Barbosa Filho et al. (1994). O problema das deficiências de Ca e Mg é abordado no item que trata de calagem, neste capítulo.

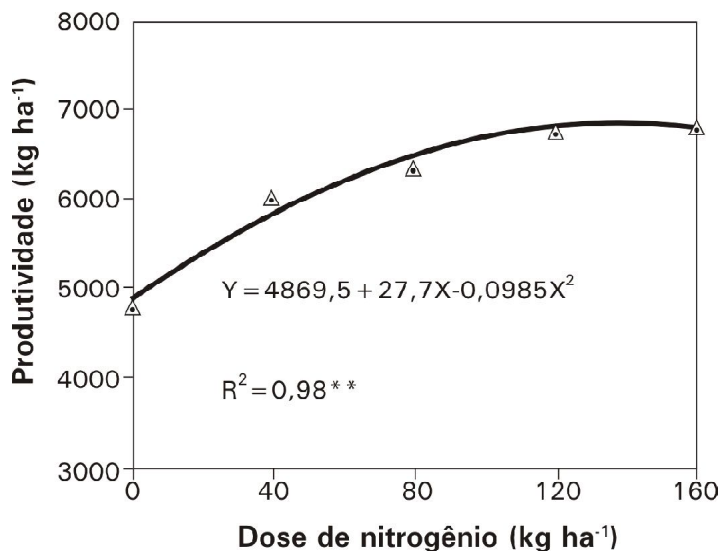
### Nitrogênio

Ainda não existe um método de análise de N que possua todas as características desejadas para a análise de rotina do solo. Por isso, não é possível preparar uma curva de calibração para esse nutriente. O problema é que a maior parte do N do solo está sob formas orgânicas, que devem ser mineralizadas para liberá-lo e torná-lo aproveitável pelas plantas. A mineralização é um processo biológico influenciado por vários fatores, como: a forma orgânica em que está o N; as características químicas do solo; e as condições do ambiente do solo. Daí decorrem todos os problemas que o pesquisador enfrenta quando tenta criar um método de análise do solo para o N que será liberado da matéria orgânica durante o ciclo da cultura.

O N é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo. Assim, o manejo adequado da adubação nitrogenada é um dos mais difíceis e a única alternativa para



fazer recomendação de adubação nitrogenada é a determinação da curva de resposta em relação a várias doses do nutriente. Na Fig. 12.2, observa-se a influência da aplicação de N na produtividade de arroz de terras altas com irrigação suplementar. Os resultados foram obtidos na Embrapa Arroz e Feijão, com base no estudo da resposta ao N de quatro genótipos de arroz de terras altas, plantados no espaçamento de 20 cm, sob irrigação suplementar por aspersão. Quanto à produtividade, verifica-se que não houve interação significativa entre os genótipos Maravilha, CNA 7127, CNA 7730 e CT 7/15 e as doses de N testadas. Considerando a média das linhagens, a produtividade apresentou resposta quadrática às doses de N, sendo o máximo de 5.523 kg ha<sup>-1</sup> alcançado com 113 kg ha<sup>-1</sup> de N. O sulfato de amônio foi utilizado como fonte de N, tendo sido aplicado em três parcelas: um terço na semeadura e o restante aos 35 e 65 dias após a emergência das plântulas.



**Fig. 12.2.** Produtividade média de quatro genótipos de arroz de terras altas com irrigação suplementar em função de doses de nitrogênio, em solo dos Cerrados.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1999).

Os resultados de um outro trabalho realizado na Embrapa Arroz e Feijão, em relação à fertilidade do solo e à produtividade de arroz de terras altas (Tabela 12.3), indicam que a produtividade máxima foi obtida com a adubação média. Um trabalho realizado por Guimarães et al. (2000) no sistema plantio direto mostrou que a produtividade de arroz de terras altas aumentou com a aplicação de N até 100 kg ha<sup>-1</sup>.



**Tabela 12.3.** Produtividade de arroz de terras altas, sob diferentes níveis de fertilidade, em solo dos Cerrados.

Fertilidade do solo	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	1 <sup>o</sup> Cultivo	2 <sup>o</sup> Cultivo	3 <sup>o</sup> Cultivo	
Baixa	2.188a	2.383a	480c	1.684b
Média	2.428a	2.795a	1.127b	2.117a
Alta	2.330a	2.657a	1.324b	2.104a
Teste F (T)	ns	ns	**	*
Teste F (cultivo)				**
Teste F (T x cultivo)				ns

\*, \*\*, ns = significativo no nível de 5% e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Fertilidade baixa = sem adubo; média = 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 30 kg ha<sup>-1</sup> de FTE-BR-12; e alta = 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg ha<sup>-1</sup> de FTE-BR-12.

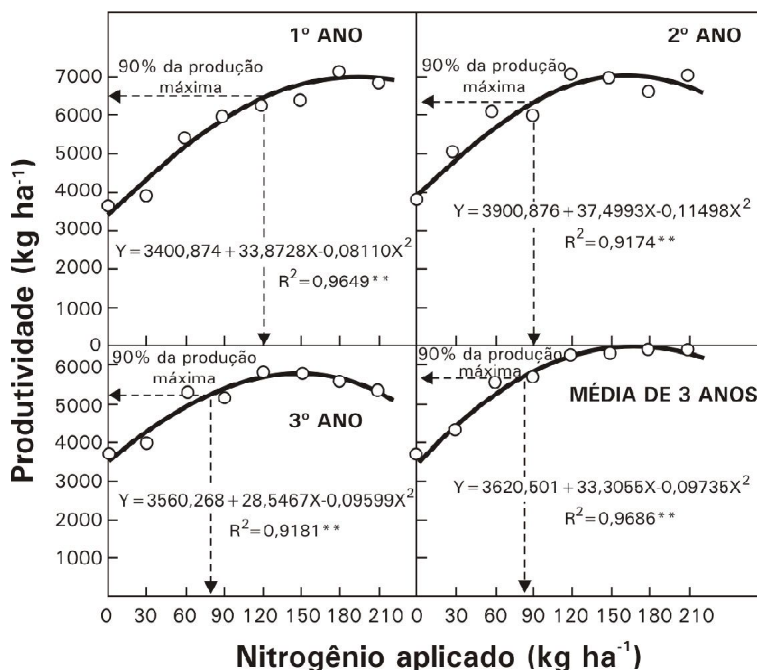
Fonte: Fageria & Souza (1995).

O produtor de arroz de terras altas sem irrigação geralmente usa 200 kg ha<sup>-1</sup> de adubo 4-30-16 e não aplica N em cobertura, empregando, portanto, somente 8 kg ha<sup>-1</sup> de N. Comparando-se com os trabalhos de pesquisa, esta é uma quantidade muito pequena, insuficiente para aumentar a produtividade do arroz nesse ecossistema. É importante ressaltar também que desequilíbrios nutricionais interferem na resposta da planta à ocorrência de doenças em campo. As implicações entre a adubação nitrogenada e a severidade de brusone, doença causada pelo fungo *Pyricularia grisea*, são descritas no Capítulo 11 deste livro.

Em estudo conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, verificaram-se respostas significativas e quadráticas do arroz irrigado ao N, obtendo-se 90% da produção máxima, considerando o nível econômico, com a aplicação de 120, 90, 78 kg ha<sup>-1</sup> de N no primeiro, segundo e terceiro anos (Fig. 12.3). A dose média econômica de três anos de experimentação foi determinada em torno de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N. O sulfato de amônio, utilizado como fonte nitrogenada, foi aplicado parceladamente, sendo um terço na semeadura, um terço 44 dias após e o restante na diferenciação do primórdio floral.

Resultados de estudo com arroz irrigado sob diferentes níveis de fertilidade do solo (Tabela 12.4) indicaram que a produtividade máxima foi obtida com o nível médio de fertilização mais adubação verde.





**Fig. 12.3.** Resposta do arroz irrigado à aplicação de nitrogênio em solo de várzea.  
 Fonte: Adaptada de Fageria & Baligar (2001).

**Tabela 12.4.** Produtividade de arroz irrigado sob diferentes níveis de fertilidade, em solo de várzea.

Fertilidade do solo	Produtividade <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )			Média
	1º Cultivo	2º Cultivo	3º Cultivo	
Baixa	3.132b	5.294c	4.556a	4.327b
Média	4.675ab	7.267ab	4.628a	5.523a
Alta	5.877a	6.352bc	4.166a	5.465a
Média + adubo verde		7.861a	4.802a	6.332
Teste F (T)	*	**	ns	**
Teste F (cultivo)				**
Teste F (T x cultivo)				**

\*, \*\*, ns = significativo no nível de 5%, 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

<sup>(1)</sup> Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Fertilidade baixa = sem adubo; média = 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 40 kg ha<sup>-1</sup> de FTE-BR-12 como fonte de micronutriente; e alta = dobro da fertilidade média.

Devido aos dois anos de dados para o tratamento adubação média + adubo verde, não foi feita análise estatística.

Fonte: Fageria et al. (1995); Fageria & Baligar (1996).



O produtor de arroz irrigado usa geralmente 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que significa um nível considerado baixo, comparado com aquele

identificado pela pesquisa. Além do uso de doses adequadas, a época de aplicação de N também é importante para aumentar sua eficiência. Para o arroz de terras altas, recomenda-se a aplicação de um terço na semeadura e o restante na diferenciação do primórdio floral.

Em experimentos conduzidos em diversos locais na região tropical (Tabela 12.5), as maiores produtividades foram verificadas quando o N foi aplicado na semeadura, juntamente com o fósforo e o potássio, e em duas coberturas, ou seja, por ocasião do perfilhamento ativo, cerca de 45 dias após a emergência das plântulas (DAE), e na diferenciação do primórdio floral, aproximadamente aos 65 DAE, dependendo da cultivar. A aplicação tardia desta última cobertura pode favorecer a ocorrência de brusone nas panículas. Outra alternativa seria efetuar a adubação nitrogenada em duas épocas, ou seja, aplicação da metade do N na semeadura, e a outra metade, no estágio de perfilhamento ativo. A ocorrência de brusone nas folhas pode ser favorecida pelo fornecimento de maiores quantidades de N na semeadura, portanto, nessa situação, o tratamento de sementes das cultivares suscetíveis é indispensável. Na aplicação na semeadura, parte do N poderá ser fornecido a lanço e o restante, mediante o adubo formulado no sulco, juntamente com o P e o K. Isso poderá resultar em redução do custo da adubação. O parcelamento da aplicação de N é o mais recomendado para as condições de campo, devido às perdas de N por lixiviação. Esses resultados também revelam que a aplicação desse nutriente mais tardiamente no ciclo da cultura não aumenta a produtividade.

**Tabela 12.5.** Produtividade de arroz irrigado sob diferentes épocas de aplicação de nitrogênio, no Estado do Tocantins.

Épocas de aplicação de N	Cobrape		Local			Média
	1º cultivo	2º cultivo	Lagoa da Confusão			
			1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo	
	<b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>					
T1	5.324	8.909ab	7.119	7.387a	5.887	6.924ab
T2	5.951	9.674a	7.187	6.765ab	5.780	7.072a
T3	5.878	9.570a	7.332	6.468b	6.218	7.093a
T4	5.482	9.153a	6.743	6.928ab	5.863	6.834ab
T5	5.629	9.437a	7.178	6.288b	5.862	6.879ab
T6	5.516	9.176a	7.020	6.958ab	5.658	6.865ab
T7	5.577	8.240b	6.866	6.548b	5.644	6.575b

Médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1 = todo no plantio; T2 = 1/3 no plantio + 1/3 45 dias após plantio + 1/3 na diferenciação do primórdio floral; T3 = 1/2 no plantio + 1/2 45 dias após plantio; T4 = 1/2 no plantio + 1/2 na diferenciação do primórdio floral; T5 = 2/3 no plantio + 1/3 45 dias após plantio; T6 = 2/3 no plantio + 1/3 na diferenciação do primórdio floral e T7 = 1/3 no plantio + 2/3 20 dias após plantio.

Fonte: Fageria & Prabhu (2004).



## Fósforo

O P é o nutriente mais deficiente na maioria dos solos brasileiros, tanto nos Cerrados como nas várzeas e, portanto, sua aplicação como fertilizante é fator indispensável para a obtenção de altas produtividades da maioria das culturas.

A deficiência de P é devida ao seu baixo teor natural no solo e à sua alta capacidade de fixação, o que resulta na sua baixa eficiência de recuperação. Resultados obtidos por Fageria & Barbosa Filho (1987) mostram que aproximadamente 85% do P solúvel aplicado é fixado em solos dos Cerrados e não fica disponível para a cultura do arroz durante o seu crescimento. A deficiência de P no solo pode ser corrigida com a adubação de correção e manutenção (Fageria, 1984).

### Adubação de correção e de manutenção

A adubação de correção é a quantidade de fertilizante aplicado que visa a elevar a fertilidade do solo a um nível preestabelecido. A correção pode ser feita por meio de dois processos:

- a) Correção imediata: consiste na aplicação de fosfato em doses elevadas, numa única operação, a lanço, com a posterior incorporação ao solo. A adubação a lanço é a maneira ideal quando são necessárias grandes quantidades de fertilizante para corrigir deficiência severa do elemento. Exceto a quantidade absorvida pela planta ou perdida por erosão e lixiviação, P permanece no solo na forma indisponível, devido ao processo de fixação. A adubação fosfatada tem efeito residual prolongado, devendo, portanto, ser considerada como investimento. Após a correção, deverá ser feita, anualmente, uma adubação no sulco de semeadura para manutenção da fertilidade. Quando há disponibilidade de capital, a correção imediata é a mais indicada, pois serão obtidas produções elevadas a partir do primeiro cultivo.
- b) Correção gradativa: é feita anualmente com aplicações no sulco de semeadura, de modo que o excesso seja acumulado ao longo dos anos. Com a adubação no sulco é possível obter um rápido crescimento inicial das plantas, reduzindo a competição com plantas daninhas, propiciando maior área foliar para a fotossíntese. Os resultados têm sido melhores quando se aplica maior quantidade a lanço, incorporado ao solo, e pequena quantidade de P solúvel no sulco. Nos solos com baixo teor de P e alta capacidade de fixação, o arroz responde melhor quando o fertilizante é aplicado no sulco, ao passo que, em solos com



teor de P médio ou alto, as aplicações a lanço ou no sulco são igualmente efetivas. Havendo menor disponibilidade de capital, poderá ser usada a correção gradativa.

A adubação de manutenção refere-se à quantidade de fertilizante aplicado visando a manter o nível de fertilidade do solo e restituir o que a cultura extraiu, considerando o coeficiente de aproveitamento dos elementos. Nessa prática, recomenda-se a utilização de fertilizantes fosfatados solúveis, pois a sua pronta disponibilidade é importante para o perfilhamento e o desenvolvimento das raízes nos estádios iniciais de crescimento da planta.

Para solos dos Cerrados, recomenda-se a adubação corretiva e de manutenção, baseadas na análise do solo, como apresentado na Tabela 12.6.

**Tabela 12.6.** Recomendações de adubação corretiva e de manutenção para a cultura do arroz de terras altas em solos dos Cerrados.

Teor de P no solo (mg kg <sup>-1</sup> )	Interpretação do resultado da análise	Recomendação de adubação (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup> )	
		a lanço	no sulco
0 - 3,0	Muito baixo	250	70
3,1 - 6,0	Baixo	150	60
6,1 - 9,0	Médio	120	50
>9,0	Alto	0	40

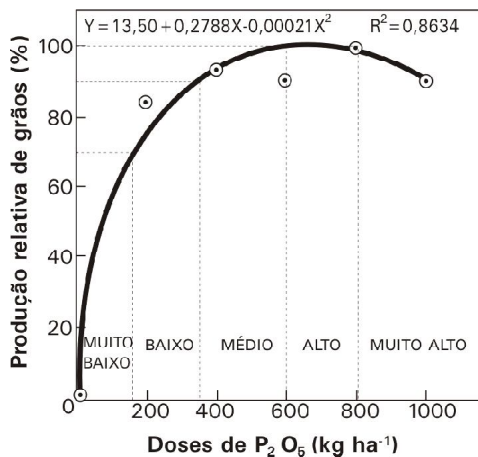
Fonte: Fageria (1984).

Para o arroz irrigado por inundação a necessidade de P é maior devido à alta produtividade, comparada à do arroz de terras altas. A relação entre a produtividade do arroz irrigado e o P aplicado é mostrada na Fig. 12.4. A produção máxima foi estimada com a aplicação a lanço de 660 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Inicialmente, o teor de P no solo foi de aproximadamente 2 mg kg<sup>-1</sup>, aumentando, na época da colheita, para 24 mg kg<sup>-1</sup> (Fig. 12.5). Com base no teor de P no solo e na produção relativa, foi determinada a curva de calibração (Fig. 12.6). A partir desta curva, foi feita a classificação do teor de P no solo e estimada a produção relativa, como segue:

0 a 70% da produção relativa = teor muito baixo (0-3,6 mg de Pkg<sup>-1</sup> de solo);  
 70 a 90% da produção relativa = teor baixo (3,6 - 6,4 mg de Pkg<sup>-1</sup> de solo);  
 90 a 100% da produção relativa = teor médio (6,4-12,0 mg de Pkg<sup>-1</sup> de solo);  
 > de 100% da produção relativa = teor alto (> 12 mg de Pkg<sup>-1</sup> de solo).

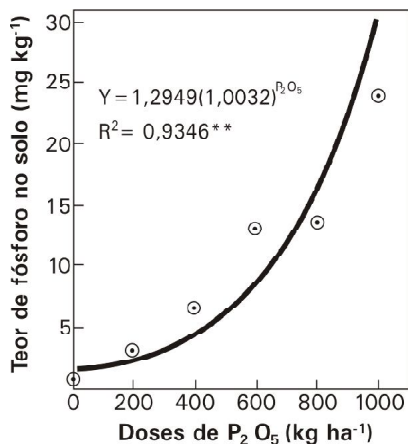
Na Tabela 12.7 encontram-se relacionadas as recomendações de adubação fosfatada para a cultura do arroz irrigado.





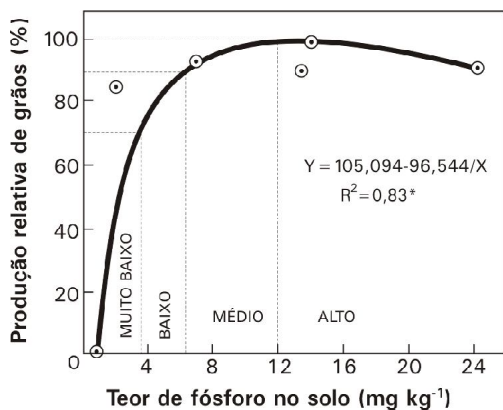
**Fig. 12.4.** Relação entre a produção relativa de arroz irrigado e a aplicação de fósforo a lanço em solo de várzea.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).



**Fig. 12.5.** Relação entre o fósforo aplicado a lanço e o teor de fósforo em solo de várzea.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997b).



**Fig. 12.6.** Relação entre o fósforo extraído do solo com extrator Mehlich 1 e a resposta do arroz irrigado à adubação fosfatada em solo de várzea.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997b).





**Tabela 12.7.** Recomendações de adubação fosfatada corretiva e de manutenção para a cultura do arroz irrigado em solo de várzea.

Teor de P no solo (mg kg <sup>-1</sup> )	Interpretação do resultado da análise	Recomendação de adubação (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	
		a lanço	no sulco
0 – 3,0	Muito baixo	700	120
3,1 - 6,4	Baixo	500	100
6,4 – 12,0	Médio	350	80
>12,0	Alto	0	60

### Potássio

A resposta da cultura de arroz à aplicação de K não é tão marcante quanto as obtidas para N e P. Entretanto, comparado a outros nutrientes, o K é extraído em maior quantidade pelas cultivares modernas de arroz irrigado. Desse modo, com o uso intensivo dos solos e a utilização de cultivares mais produtivas, as reservas de potássio do solo não são suficientes para manter a produtividade por longo tempo. Nessas condições, devem ser utilizadas adubações mais equilibradas para repor o nutriente extraído do solo e obter altas produtividades. A cultura do arroz geralmente não responde à adubação potássica, quando a análise do solo revela teor de K extraível em torno de 0,13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, ou 50 ppm de K. O extrator usado na maioria dos laboratórios de análise de solo no Brasil é o mesmo utilizado para o P (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N + HCl 0,05 N).

Trabalhos realizados por Fageria et al. (1990b, 1990c) com arroz de terras altas e irrigado por inundação mostraram que o nível de K<sub>2</sub>O para a produção máxima varia conforme o ano e a cultivar. Para o arroz de terras altas, foi desenvolvida a seguinte equação:

$$Y = 2100 + 10,18x - 0,089x^2 \quad R^2 = 0,91$$

Com base nesta equação, a dose de K<sub>2</sub>O necessária para a produção máxima é de 57 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o arroz irrigado, o melhor ajuste da equação foi quadrático:

$$Y = 6061 + 26,81x - 0,168x^2 \quad R^2 = 0,93$$

Aplicando-se essa equação, o nível de K<sub>2</sub>O necessário para a produção máxima é de 79 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

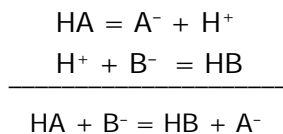


## Enxofre

A deficiência de S pode ocorrer devido ao cultivo intensivo por vários anos, o que esgota a baixa reserva natural desse nutriente. Entre outras causas, cita-se o uso cada vez maior de misturas de fertilizantes de alta concentração, como os preparados com uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e fosfatos de amônio, que não contêm teores apreciáveis de S. Além disso, a deficiência desse nutriente pode ocorrer devido à queimada, que é uma prática muito comum na região dos Cerrados. A queimada destrói a matéria orgânica do solo e, se não forem tomadas medidas apropriadas de reposição, a deficiência de S aparece após alguns cultivos. A planta de arroz necessita aproximadamente 3 kg de S por tonelada de grãos produzida. O nível crítico de S no solo é de 10 a 12 mg kg<sup>-1</sup> de solo. Trabalho realizado por Malavolta et al. (1987) evidenciou que, para a cultura do arroz de terras altas, aproximadamente 30 kg ha<sup>-1</sup> de S são suficientes. Para o arroz irrigado, a necessidade pode ser maior, devido à maior produtividade. Contudo, uma aplicação de 30 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, como sulfato de amônio em cobertura, geralmente corrige a deficiência de S na cultura do arroz.

## CALAGEM

A prática da calagem é importante para aumentar a produtividade das culturas em solos ácidos. Antes de discutir o tema, é importante apresentar o conceito de acidez do solo. O ácido é uma substância doadora de prótons, e a base é receptora. Assim, quando um ácido (HA) reage com a base (B<sup>-</sup>), dá-se a transferência de prótons, com a seguinte reação:



O pH é largamente utilizado como propriedade química para a determinação da reação do solo e é definido pela seguinte equação:

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

A escala de pH varia de 0 a 14. Solos com pH abaixo ou acima de 7 são, respectivamente, ácidos ou alcalinos. De maneira geral, podem ser encontrados nos solos valores de 3 a 10, sendo mais comum, nos solos brasileiros, uma variação entre 4 e 7,5. Um solo com pH igual a 5 é dez vezes mais ácido do que outro com pH 6, e 100 vezes mais ácido do que um de pH 7.



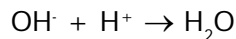
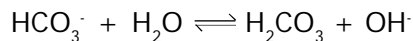
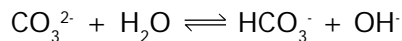
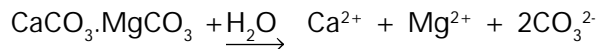
Na prática, a acidez do solo não significa somente alto teor de  $H^+$ , podendo refletir baixos teores de P, Ca, Mg e Mo, como também altos teores de Al e Mn. Além disso, em solos ácidos ocorre baixa atividade de microrganismos benéficos, como os responsáveis pela fixação biológica de N, o que significa que a acidez do solo é bastante prejudicial para a produção das culturas.

### Recomendações de calagem

A calagem é ainda a prática mais difundida para corrigir a acidez do solo. Os constituintes mais comuns do calcário são o carbonato de Ca ( $CaCO_3$ ) e o carbonato de Mg ( $MgCO_3$ ). Os calcários são classificados conforme o teor de  $MgCO_3$  em: calcíticos (menos de 10% de  $MgCO_3$ ); magnesianos (de 10 a 20%); e dolomíticos (mais de 25%). Quanto ao MgO, classificam-se em: calcíticos (menos de 5% de MgO); magnesianos (de 5 a 12%); e dolomítico (mais de 12%).

Na aplicação de calcário dolomítico, as reações do solo são as seguintes:

Os íons  $OH^-$  produzidos por essas reações neutralizam a acidez, aumentando o pH e os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  do solo.



A capacidade de neutralização da acidez depende do conteúdo neutralizante dos corretivos. Cabe destacar que os constituintes neutralizantes têm diferentes capacidades de neutralização. Esse teor é expresso por equivalência em carbonato de Ca, ao qual é atribuída uma capacidade de neutralização de 100%. A granulometria do calcário é muito importante na sua capacidade de neutralização da acidez. Quanto mais fino, maior é a sua eficiência. A legislação brasileira exige que 100 % do calcário passe em peneira nº 10 (2 mm) e 50%, em peneira nº 50 (0,297 mm).

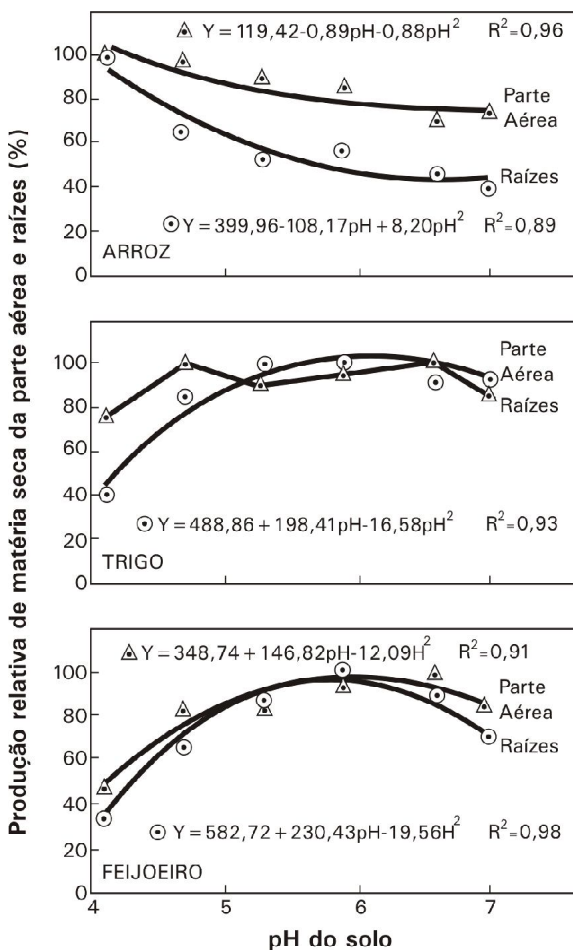
Quanto ao poder de neutralização (PN) e poder relativo de neutralização (PRNT), a legislação brasileira exige valores mínimos de 67% e 45%, respectivamente (Lopes et al., 1991).



As recomendações de calagem no Brasil são feitas principalmente por dois métodos. No primeiro, levam-se em consideração os teores de  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Quando o teor de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  é inferior a  $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , emprega-se a seguinte fórmula:

$$\text{Dose de calcário (t ha}^{-1}\text{)} = (2x Al^{3+}) + 2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

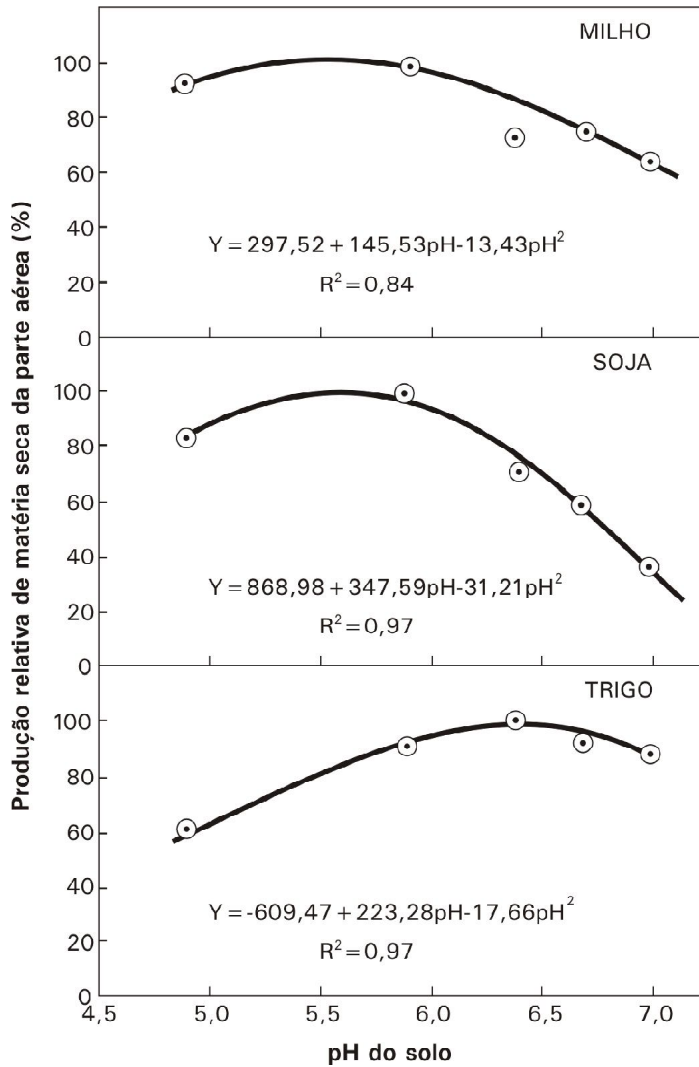
Para solos com teor de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  igual ou superior a  $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , calculam-se as doses de calcário através da multiplicação do teor de  $Al^{3+}$  pelo fator 2. Os valores obtidos devem ser corrigidos de acordo com o PRNT do calcário. Deve-se considerar que a dose de calcário calculada por esse método nem sempre é suficiente para elevar o pH do solo de modo sensível. Nas Fig. 12.7, 12.8 e 12.9 é mostrado o pH ideal para algumas culturas anuais em solos dos Cerrados e de várzea no Brasil.



**Fig. 12.7.** Relação entre o pH do solo dos Cerrados e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de arroz, trigo e feijoeiro.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).

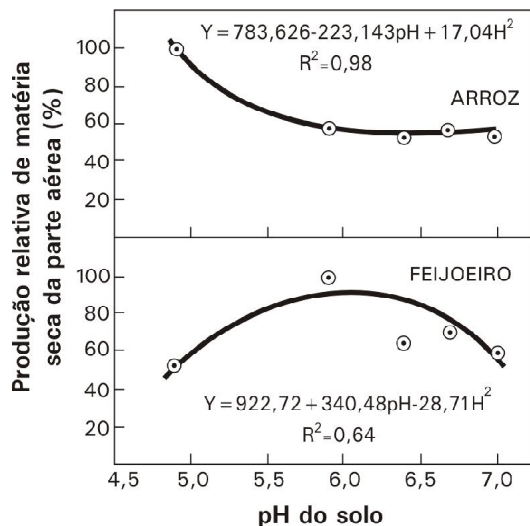




**Fig. 12.8.** Relação entre o pH do solo de várzea e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de milho, soja e trigo.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).





**Fig. 12.9.** Relação entre o pH do solo de várzea e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de arroz e feijoeiro.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).

Fageria et al. (1990a) verificaram efeitos do calcário na mudança do pH e também dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  em solo de Cerrado (Tabela 12.8).

**Tabela 12.8.** Influência do calcário sobre pH,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , na camada de 0 - 20 cm de profundidade, 67 dias após a aplicação, em solo dos Cerrados.

Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	pH (1:2,5 solo/água)	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$		$\text{Al}^{3+}$
		(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
0	5,0	1,49	0,51	
3	5,4	2,69	0,26	
6	5,6	3,62	0,11	
9	5,8	4,29	0,07	
12	6,0	5,26	0,04	
Teste F	**	**	**	

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Fonte: Fageria et al. (1990a).



O segundo método utilizado para calcular a dose de calcário, principalmente nos Estados de São Paulo e Paraná, é o de saturação por bases. A porcentagem de saturação por bases pode ser definida da seguinte maneira:

$$\text{Porcentagem de saturação por bases} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} / \text{CTC}) \times 100$$

A CTC (capacidade de troca de cátions) consiste em somar as bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ ) e a acidez ( $\text{H}^{+}$  +  $\text{Al}^{3+}$ ).

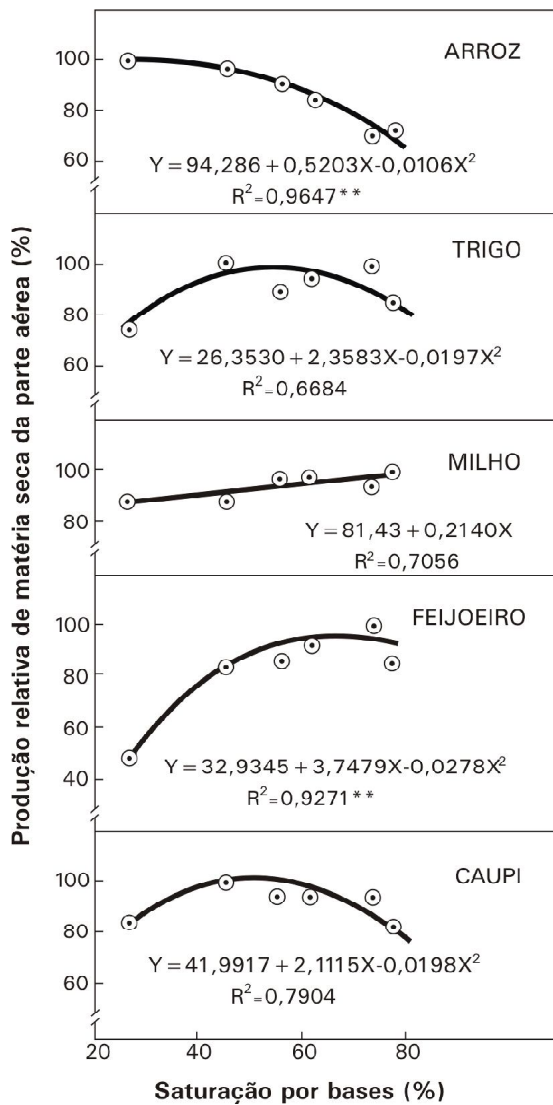
Considerando-se a saturação por bases, a quantidade de calcário pode ser calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Calcário (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{T (V_2 - V_1)}{100} \times f$$

onde: **T** = capacidade de troca de cátions (CTC); **V<sub>2</sub>** = saturação por bases desejada para a cultura a ser implantada, com base em informações da pesquisa; **V<sub>1</sub>** = saturação por bases do solo; e **f** = 100/PRNT do calcário.

As Fig. 12.10, 12.11, e 12.12 apresentam a saturação por bases ideal, em solos dos Cerrados e de várzea, para algumas culturas usadas, geralmente, em sistemas de rotação com o arroz. Com base nesses resultados, constata-se que o arroz é altamente tolerante à acidez do solo. Observa-se na Fig. 12.13 a tolerância do arroz quanto à saturação por Al, em comparação ao feijoeiro. Conclui-se que, na cultura do arroz, a prática da calagem deve ser encarada com cautela, devendo ser considerada apenas quando o arroz for utilizado em sistema de rotação.



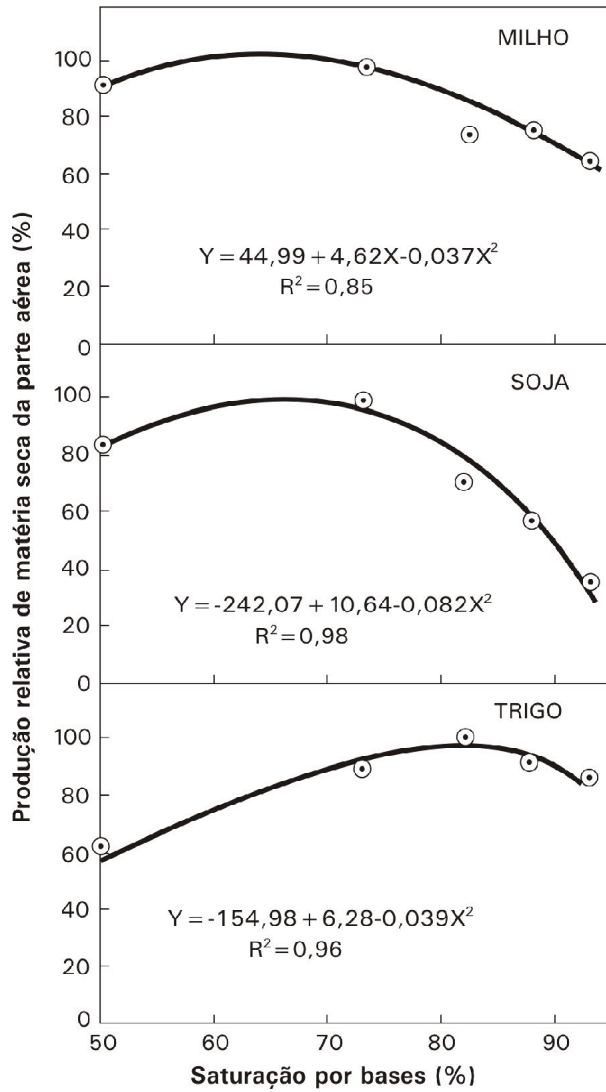


**Fig. 12.10.** Relação entre a saturação por bases e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de arroz, trigo, milho, feijoeiro e caupi, em solos dos Cerrados.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).



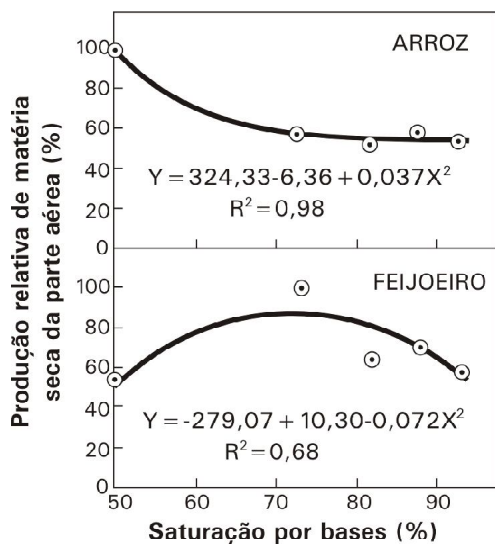




**Fig. 12.11.** Relação entre a saturação por bases e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de milho, soja e trigo, em solos de várzea.

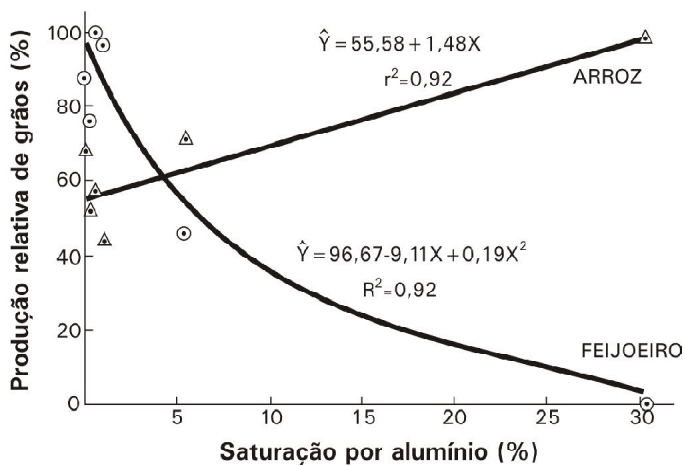
Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).





**Fig. 12.12.** Relação entre a saturação por bases e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de arroz e feijoeiro, em solos de várzea.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).



**Fig. 12.13.** Relação entre a saturação por alumínio e a produção relativa de grãos de arroz e feijoeiro, em solos de várzea.

Fonte: Adaptada de Fageria et al. (1997a).



## REFERÊNCIAS

- BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; FAGERIA, N. K. **Zinco e ferro na cultura do arroz**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI. 1994. 71 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 49).
- BRAY, R. H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. **Soil Science**, Baltimore, v. 78, p. 9-22, 1954.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Relatório científico**: Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Goiânia, 1984. 404 p.
- FAGERIA, N. K. Influência da aplicação de fósforo no crescimento, produção e absorção de nutrientes do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 26-31, jan./abr. 1980.
- FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus: Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 341 p.
- FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, 1989. 425 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 18).
- FAGERIA, N. K. Soil acidity affects availability of nitrogen, phosphorus, and potassium. **Better Crops International**, Atlanta, v. 10, n. 1, p. 8-9, 1994.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Response of lowland rice and common beans grown in rotation to soil fertility levels on a varzea soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 13-20, 1996.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 10, p. 1279-1289, 1997.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 9/10, p. 1405-1429, Sept. 2001.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Phosphorus fixation in oxisol of Central Brazil. **Fertilizers and Agriculture**, Paris, v. 41, n. 94, p. 33-37, Mar. 1987.
- FAGERIA, N. K.; BRESEGHELLO, F. Nutritional diagnostic in upland rice production in some municipalities of state of Mato Grosso, Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 1, p. 15-28, 2004.
- FAGERIA, N.K.; PRABHU, A. S. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 123-129, fev. 2004.
- FAGERIA, N. K.; SOUZA, N. P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 359-368, mar. 1995.
- FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v. 80, p. 63-152, 2003.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 77, p. 185-268, 2002.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997a. 624 p.



- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; BALIGAR, V. C. Phosphorus soil test calibration for lowland rice on an Inceptisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 737-742, Sept./Oct. 1997b.
- FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A. S.; BARBOSA FILHO, M. P.; FILIPPI, M. C. **Seja o doutor do seu arroz**. Piracicaba: POTAFOS, 1995. 20 p. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, 9).
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 267-274, fev. 1994.
- FAGERIA, N.K.; WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; SOUSA, C.M.R. Characterization of physical and chemical properties of varzea soils of Goiás state of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 22, n. 15/16, p. 1631-1646, 1991.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; EDWARDS, D. G. Soil-plant nutrient relationships at low pH stress. In: BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990a. p. 475-507.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; CARVALHO, J. R. P. Lowland rice response to potassium fertilization and its effect on N and P uptake. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 21, n. 3, p. 157-162, Jan. 1990b.
- FAGERIA, N. K.; WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; CARVALHO, J. R. P. Upland rice response to potassium fertilization on a Brazilian Oxisol. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 21, p. 141-147, 1990c.
- GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A.; YOKOYAMA, L. P. **Adaptação do arroz de terras altas no sistema plantio direto**: manejo da adubação nitrogenada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 46).
- IICA. **Annual Report 1999**. Brasília, DF: IICA, PROCITRÓPICOS, 2000. 17 p.
- LAMSTER, E. C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas - PROVÁRZEAS nacional. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 65, p. 3-8, maio 1980.
- LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 162 p.
- LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p. (ANDA. Boletim Técnico, 1).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; ROSOLEM, C. A.; FAGERIA, N. K.; GUIMARÃES, P. T. G. Sulfur responses of Brazilian crops. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 9/16, p. 2153-2158, 1987.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.
- SPILLMAN, W. J.; LANG, E. **The law of diminishing returns**. Chicago: World Book, 1924. 1 v.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A.; YOKOYAMA, L. P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 6, p. 927-932, jun. 1999.
- WESTERMAN, R. J.; TUCKER, T. C. Soil fertility concepts: past, present, and future. In: BOERSMA, L. L. (Ed.). **Future development in soil science research**. Madison: SSSA, 1987. p. 169-179.

