

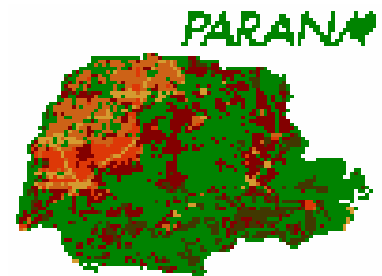
Calagem no Sistema Plantio Direto para Correção da Acidez e Suprimento de Ca e Mg como Nutrientes

Eduardo Fávero Caires

Professor Associado - Fertilidade do Solo



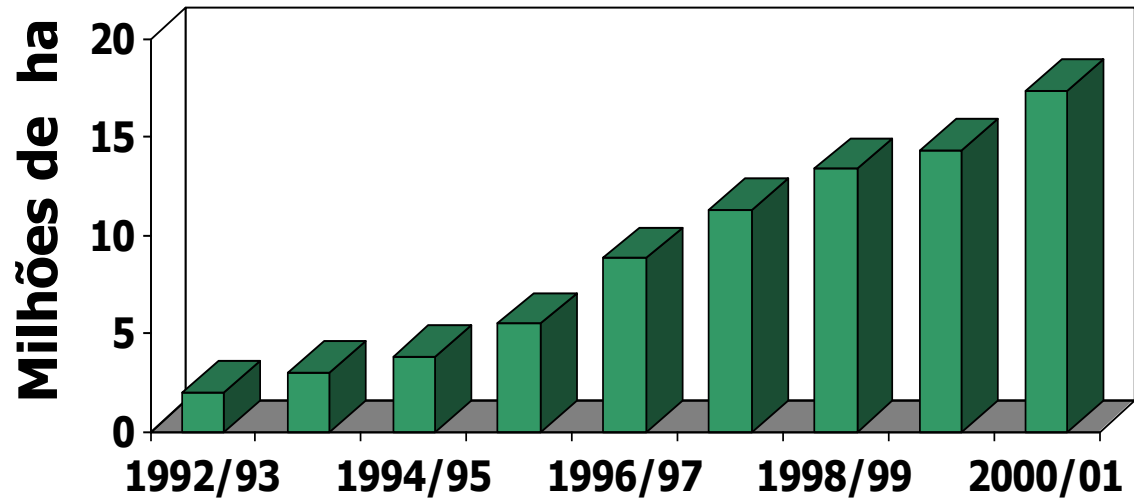
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DE PONTA GROSSA



Introdução



Plantio Direto no Brasil



Correção da acidez do solo no plantio direto: calcário na superfície
Eficiência da calagem superficial - correção da acidez e suprimento de Ca e Mg

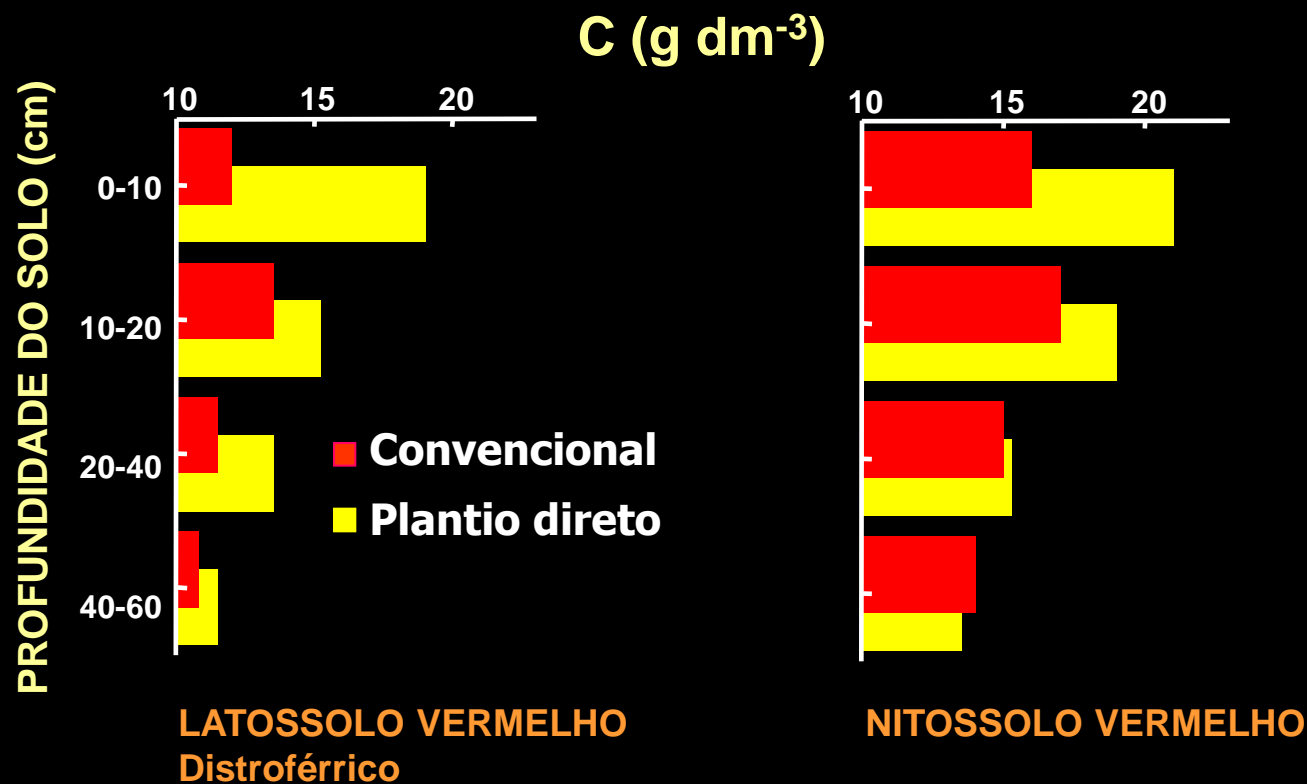
Tópicos

- ❑ Correção da acidez do solo e suprimento de Ca e Mg por meio da calagem na superfície
- ❑ Calagem na superfície e crescimento do sistema radicular
- ❑ Nutrição de Ca e Mg com a aplicação superficial de calcário
- ❑ Aplicação de calcário na superfície e produção de grãos
- ❑ Recomendação de calagem na superfície em sistema plantio direto

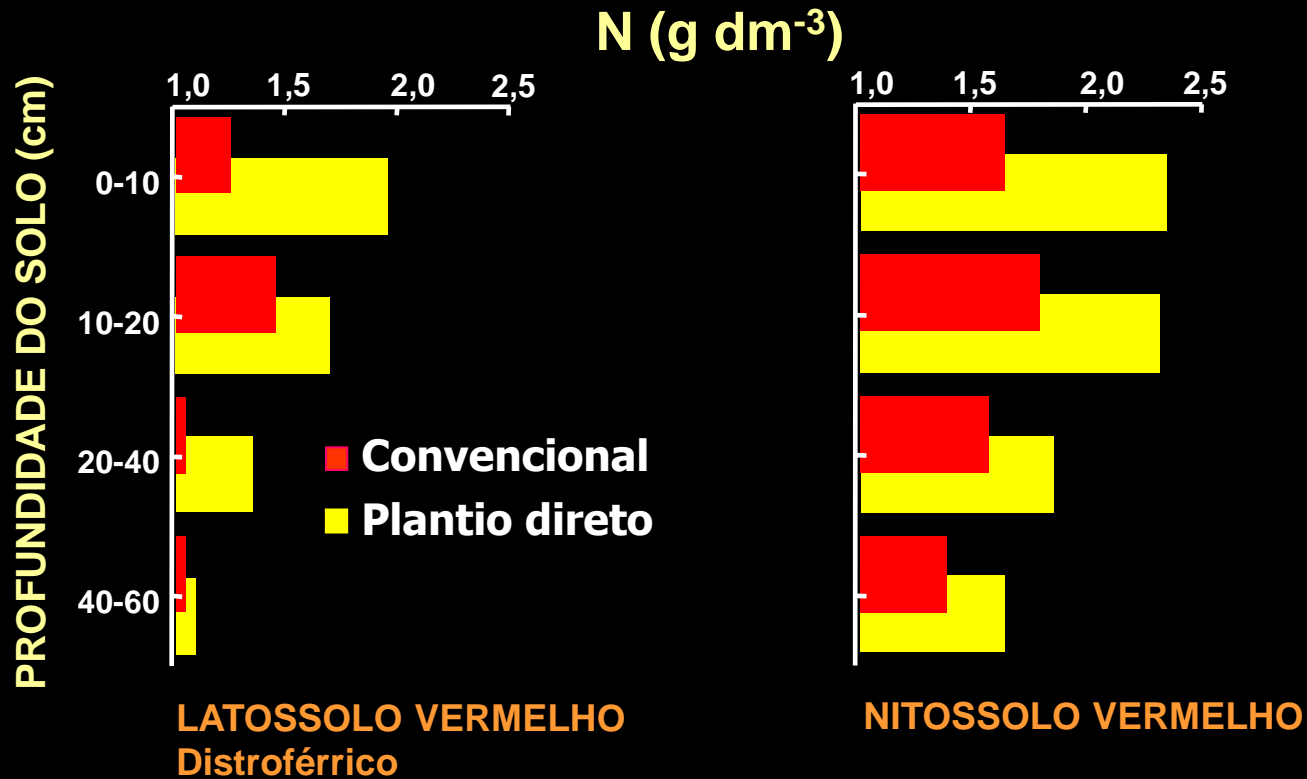
Sistema Plantio Direto

- ❑ Aumento nos teores de C orgânico e N total: deposição de resíduos vegetais e ausência de revolvimento
- ❑ Aumento da M.O. ⇒ aumento CTC e atividade biológica
- ❑ Mineralização do N é mais lenta: menor contato do material orgânico com o solo, evitando ação rápida de microrganismos

Carbono orgânico no solo em sistema convencional de preparo e em sistema plantio direto

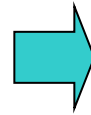


Nitrogênio total no solo em sistema convencional de preparo e em sistema plantio direto



Calagem no Sistema Plantio Direto

Deposição de resíduos orgânicos
Reação de adubos nitrogenados



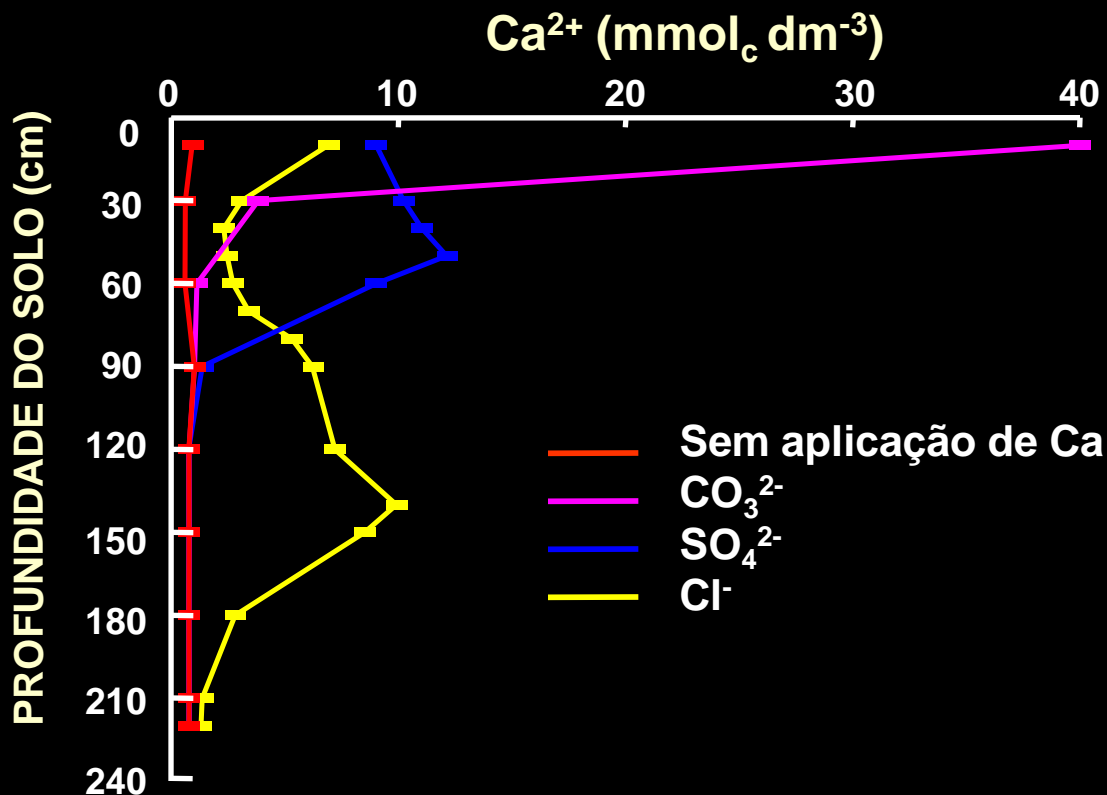
ACIDIFICAÇÃO DO SOLO

Diminuição do pH  **Aumento do Al trocável e da N.C.**

Calagem na superfície  **Reduz a absorção de Zn e Mn**

Estimativa da dose de calcário na superfície ???

Distribuição de cálcio no perfil de um Latossolo Vermelho, reconstituído em colunas, para diferentes fontes de cálcio, após percolação de 1.200 mm de água

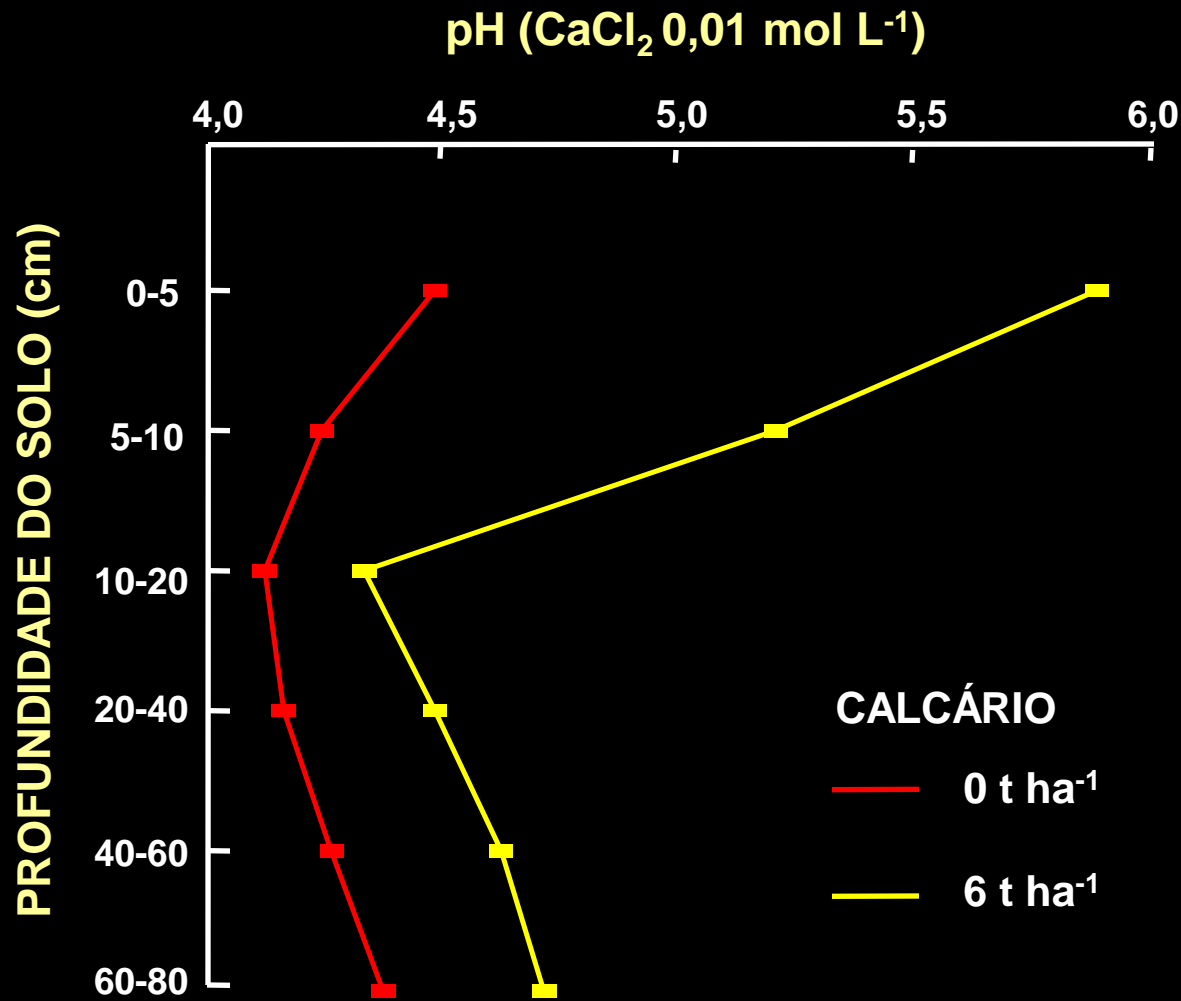


Eficiência da Aplicação Superficial de Calcário na Correção da Acidez do Solo

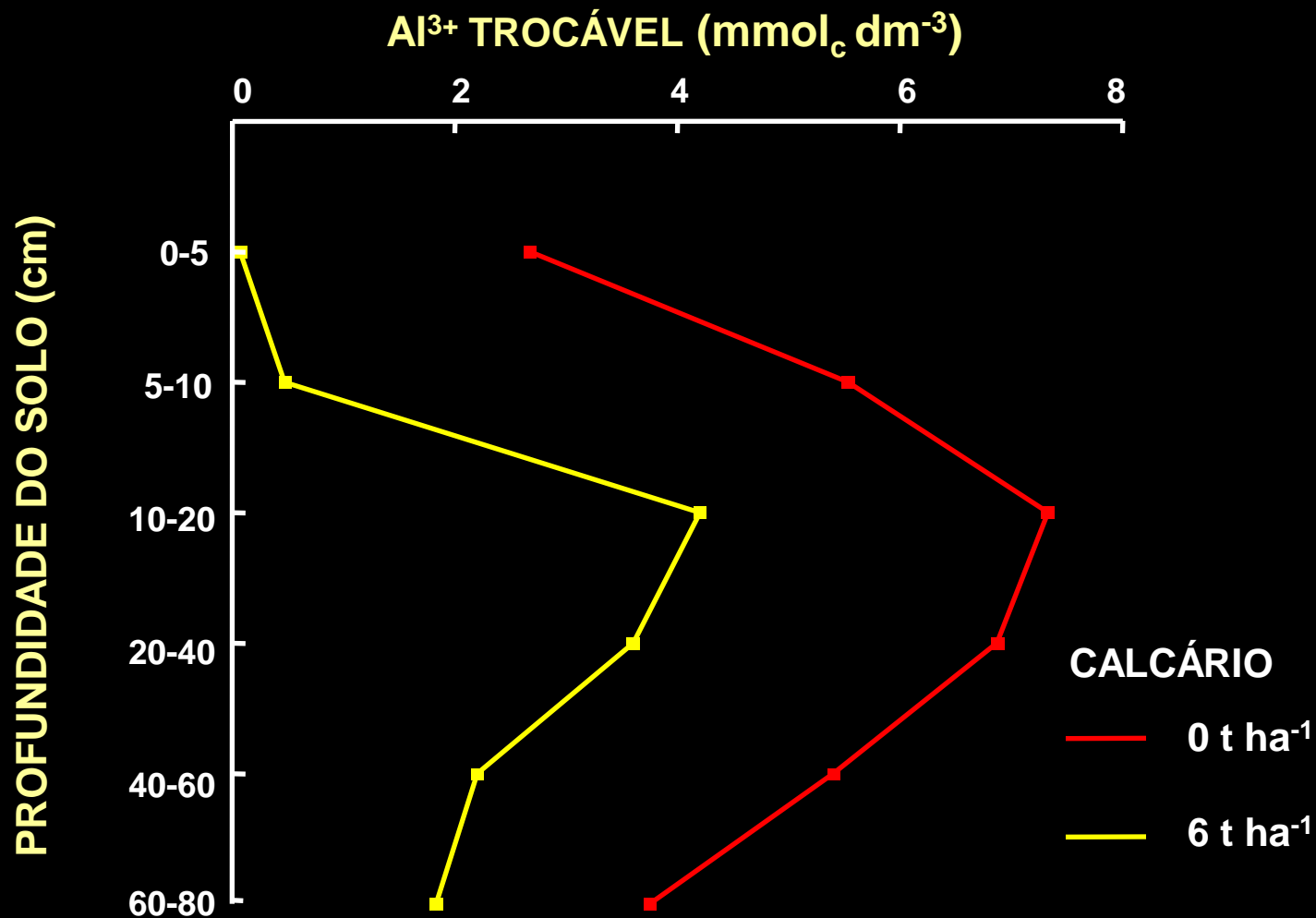
Materiais corretivos da acidez na agricultura ➡ Pouco solúveis

Calcário aplicado na superfície do solo ➡ Mobilidade limitada

Resultados experimentais: demonstram a eficiência da calagem na superfície sobre a correção da acidez de camadas superficiais e do subsolo em plantio direto



Alterações no pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, em diferentes profundidades do solo, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto.
 Solo: LV textura média. Calcário aplicado em julho de 1993.
 Pontos são médias de 5 amostragens de solo no período de 1993 a 1998.

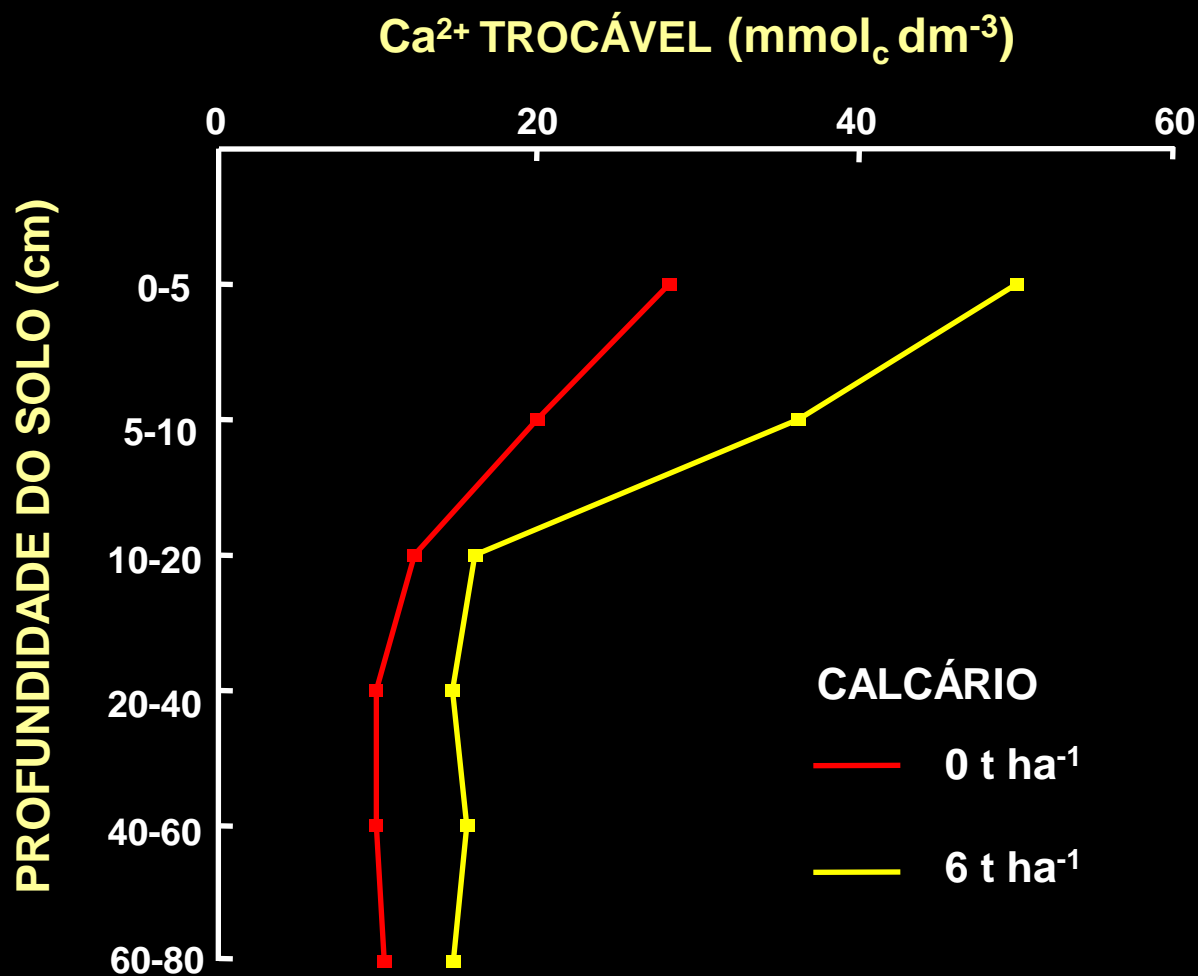


Alterações no teor de Al³⁺ trocável, em diferentes profundidades do solo, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto.

Solo: LV textura média. Calcário aplicado em julho de 1993.

Pontos são médias de 5 amostragens de solo no período de 1993 a 1998.

FONTE: Adaptado de Caires et al. (2000) - R. Bras. Ci Solo

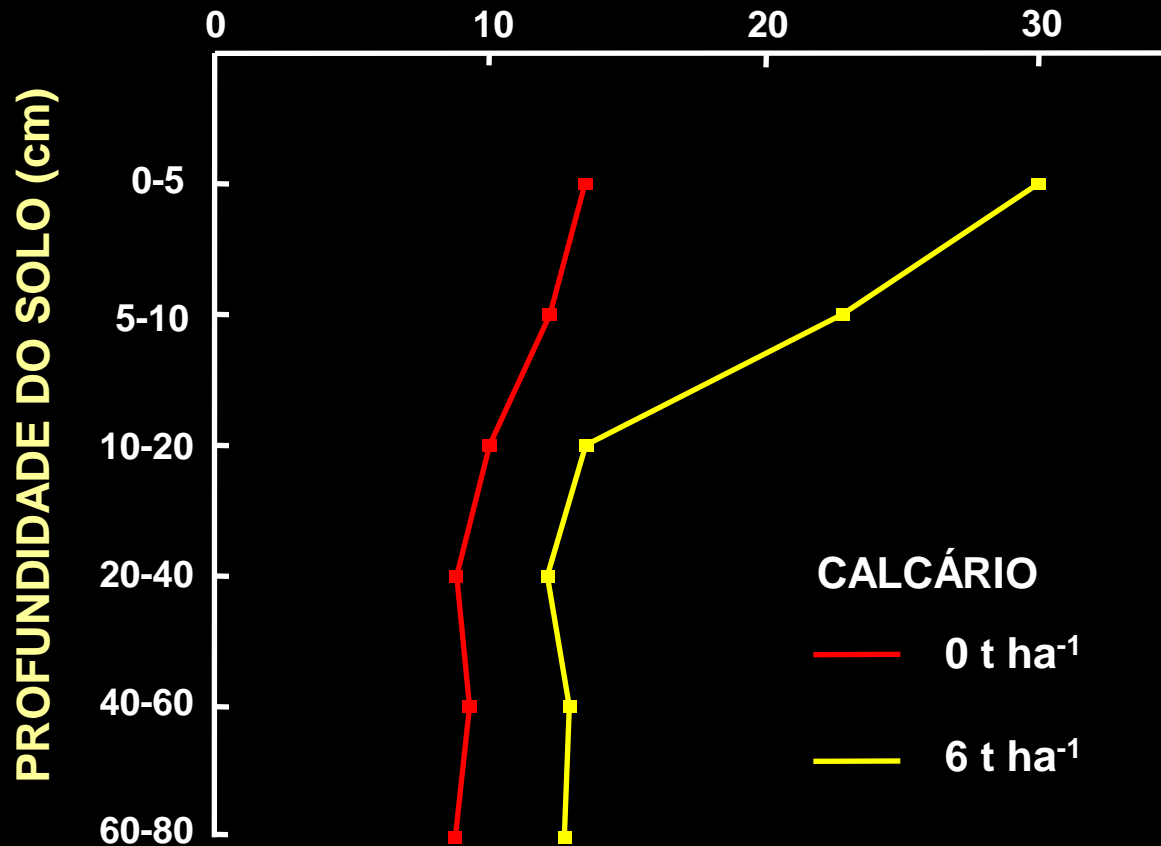


Alterações no teor de Ca²⁺ trocável, em diferentes profundidades do solo, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto.

Solo: LV textura média. Calcário aplicado em julho de 1993.

Pontos são médias de 5 amostragens de solo no período de 1993 a 1998.

Mg²⁺ TROCÁVEL (mmol_c dm⁻³)



CALCÁRIO

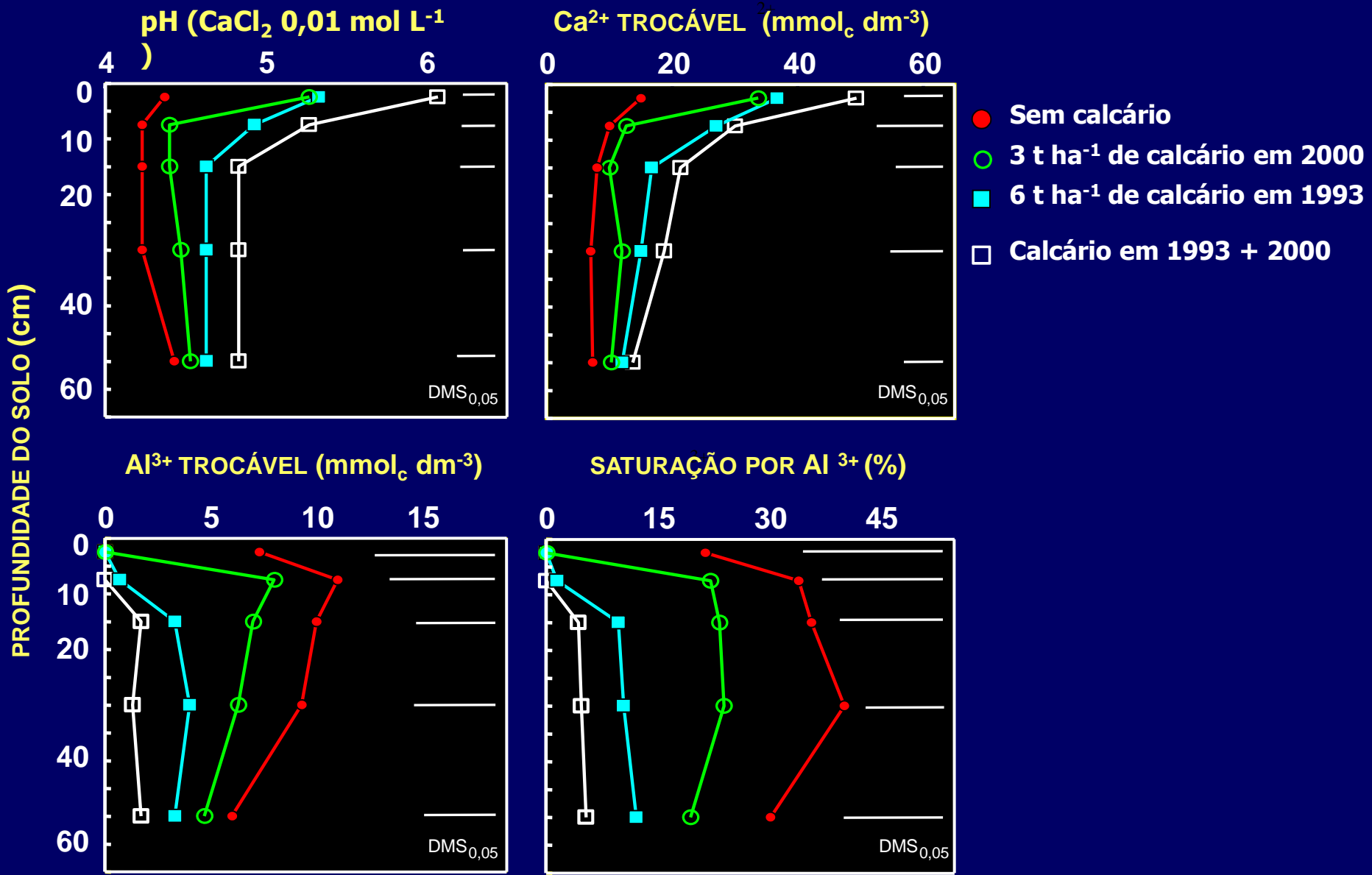
— 0 t ha⁻¹

— 6 t ha⁻¹

Alterações no teor de Mg²⁺ trocável, em diferentes profundidades do solo, considerando a calagem na superfície em sistema plantio direto.

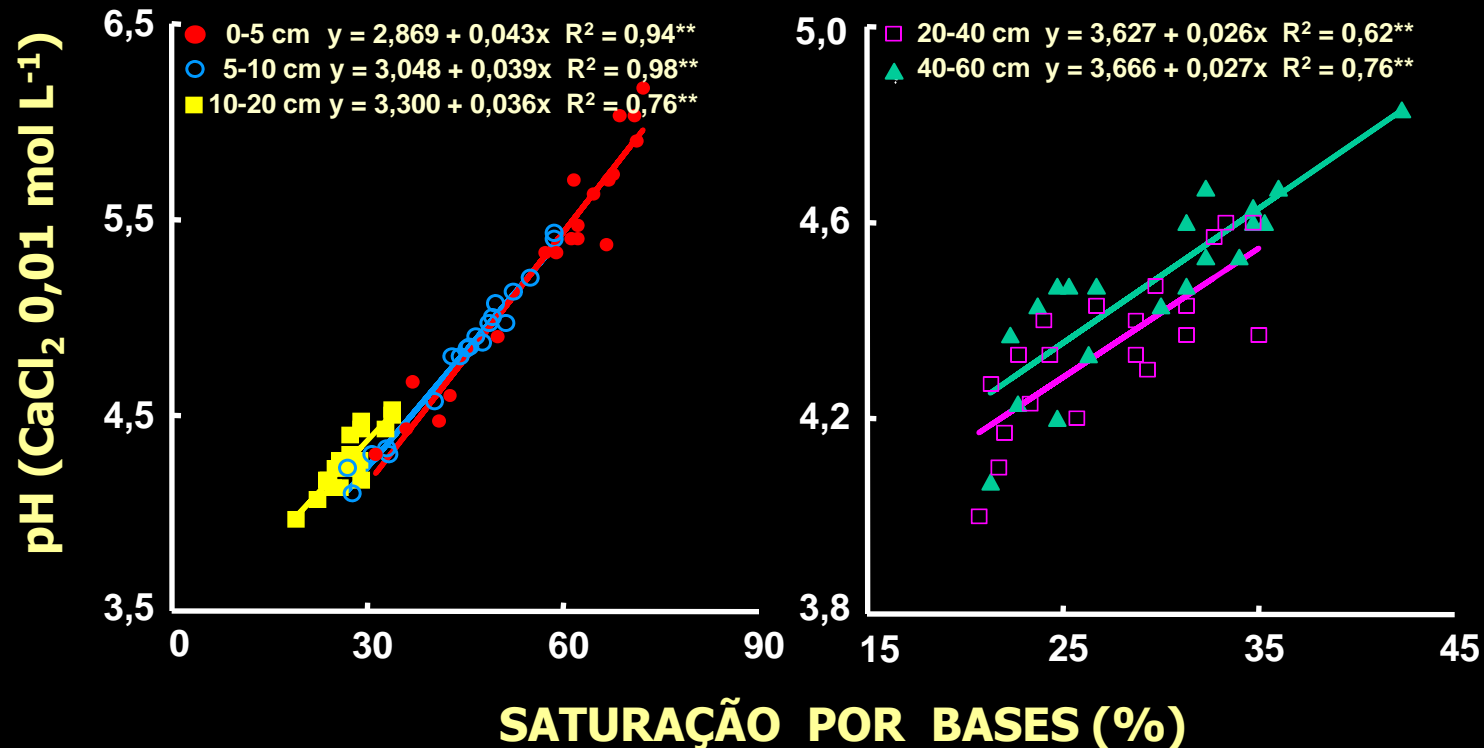
Solo: LV textura média. Calcário aplicado em julho de 1993.

Pontos são médias de 5 amostragens de solo no período de 1993 a 1998.



Acidez ativa, Ca²⁺ trocável, Al³⁺ trocável e saturação por alumínio no perfil do solo. Calcário aplicado na superfície em plantio direto. Solo amostrado em maio de 2003.

Relações entre Cátions Trocáveis e pH em Sistema Plantio Direto

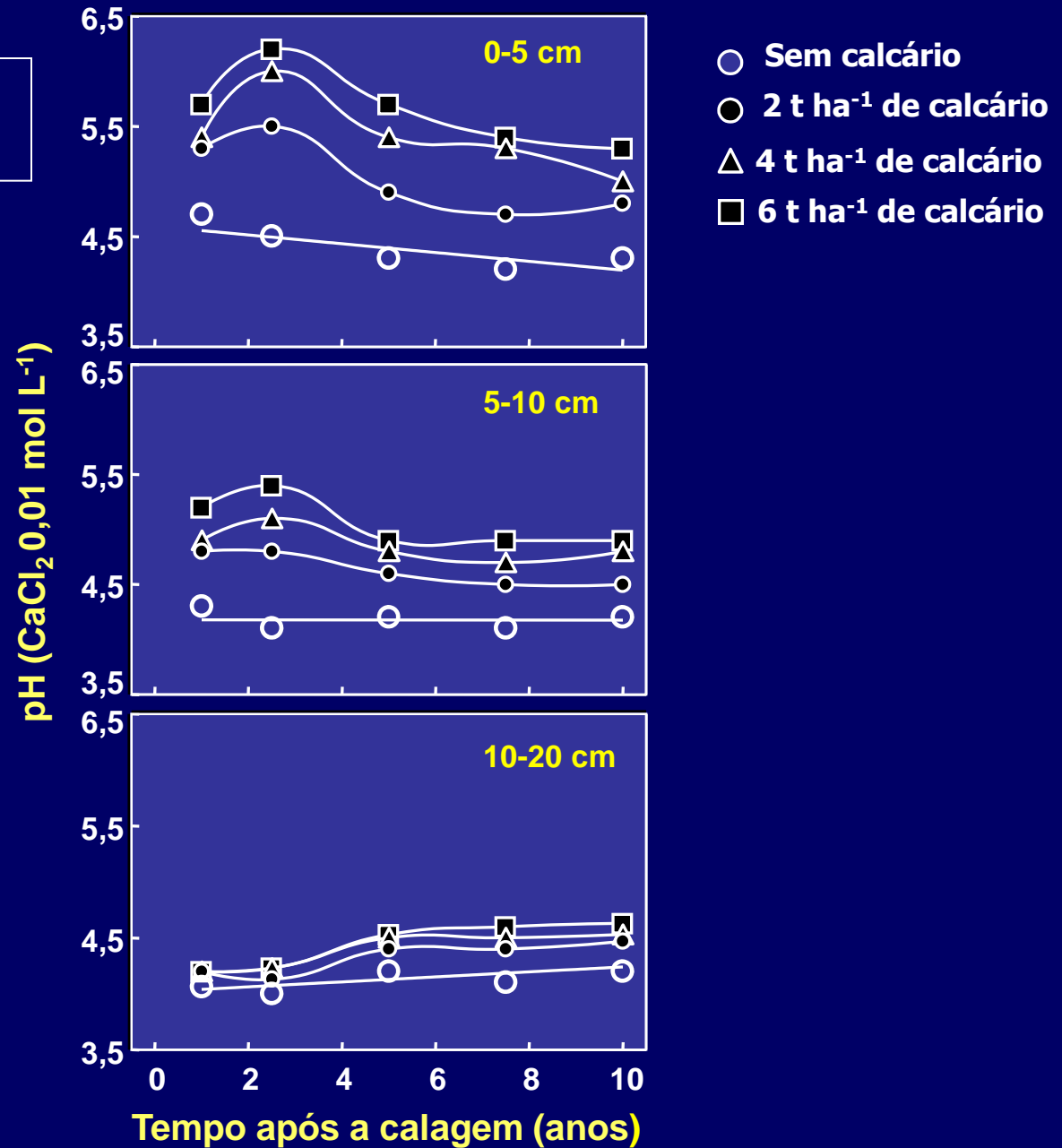


Relações entre o pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e a saturação por bases de um LV textura média sob plantio direto, em diferentes profundidades. **: $P < 0,01$

Mecanismos Envolvidos na Correção da Acidez do Subsolo pela Calagem na Superfície

- ❑ Formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
- ❑ Deslocamento mecânico de partículas de calcário (canais de raízes mortas - intactos - ausência de preparo)
- ❑ Adição de calcário e fertilizantes nitrogenados
- ❑ Manejo de resíduos orgânicos
 - ML^0 ou ML^-** (M = Ca ou Mg) - mobilidade no solo
 - Subsolo: **M** - complexos orgânicos - deslocado pelo **Al^{3+}** : complexos mais estáveis - redução acidez trocável

**Formação migração e de
 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$**



Deslocamento mecânico de partículas de calcário

Quantidade de calcário, recuperada semanalmente, 24 h após cada aplicação de 400 mL (35 mm de lâmina) de água por coluna

Período após a aplicação do calcário	Quantidade recuperada de calcário		
	Água percolada ⁽¹⁾	Filtro ⁽²⁾	Total
dia	g por coluna		
7	1,03	2,80	3,83
14	0,10	0,29	0,39
21	0,07	0,17	0,24
28	0,05	0,15	0,20
Total ⁽¹⁾	1,25	3,41	4,66
Fração (%) ⁽²⁾	2,93	7,93	10,86

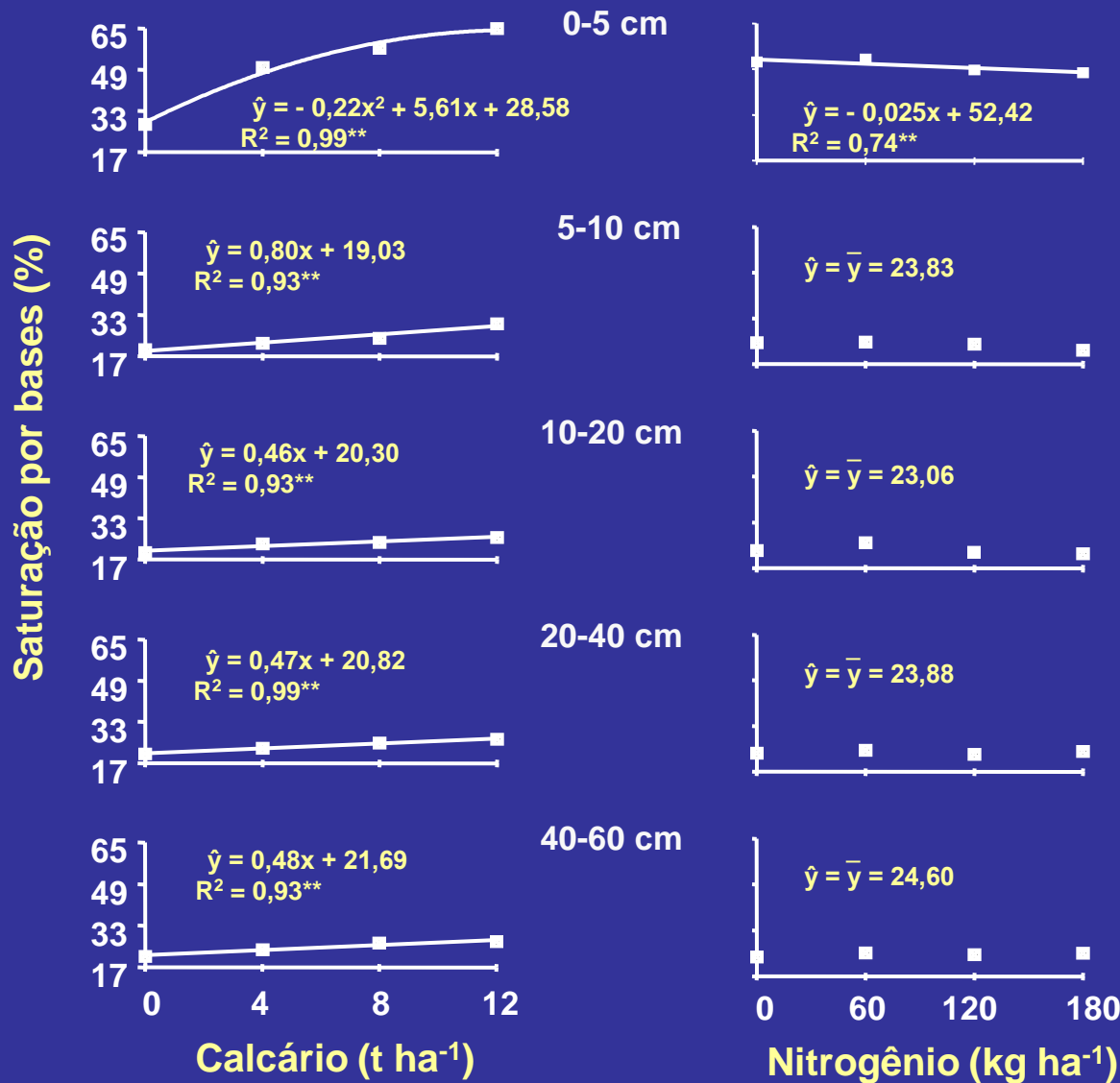
Estudo realizado em colunas de PVC com 12 cm de diâmetro e 22 cm de altura, utilizando apenas as partículas mais finas do calcário (0,105-0,053 mm).

Filtro de papel Whatman nº 42 inserido na extremidade inferior das colunas.

(1) Soma das quantidades determinadas em cada uma das três repetições.

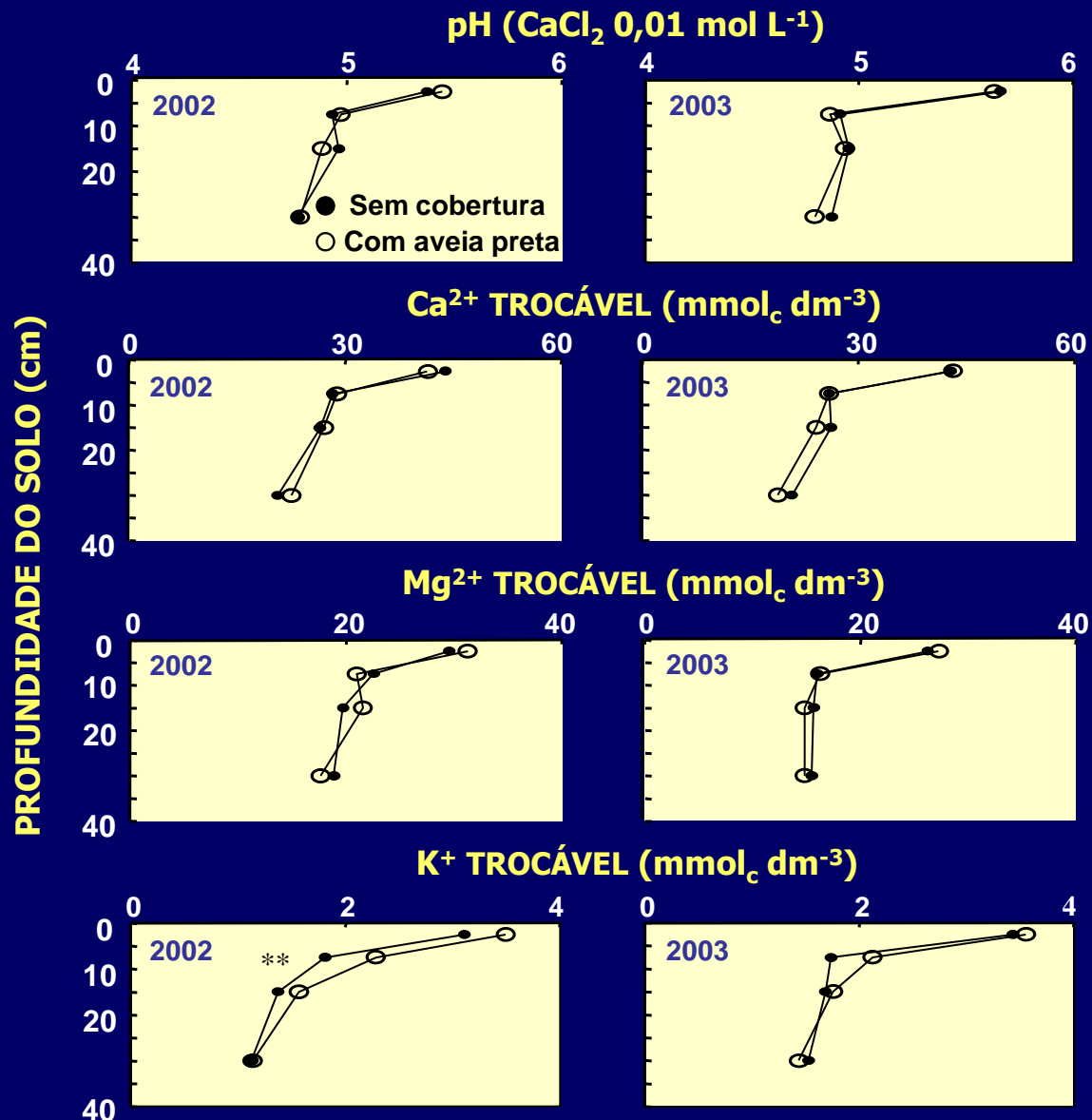
(2) Em relação à quantidade total aplicada nas três colunas (42,9 g).

Adição de calcário e fertilizantes nitrogenados



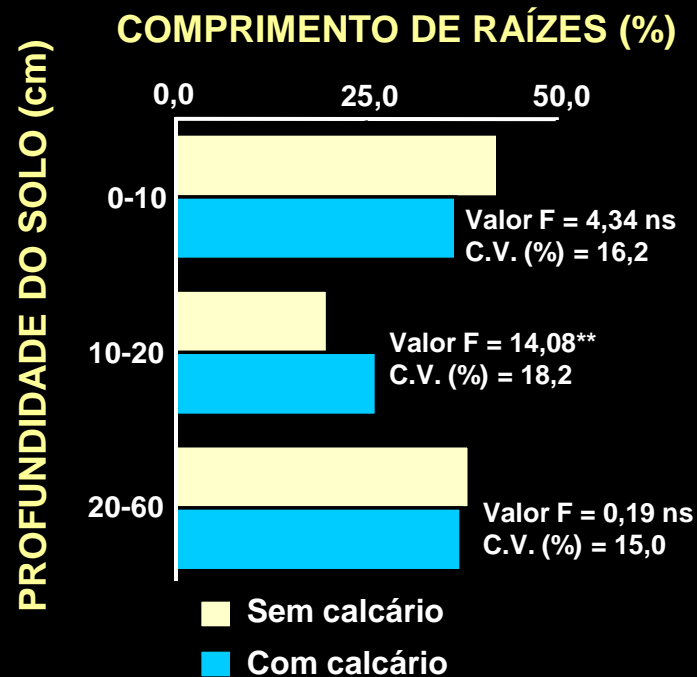
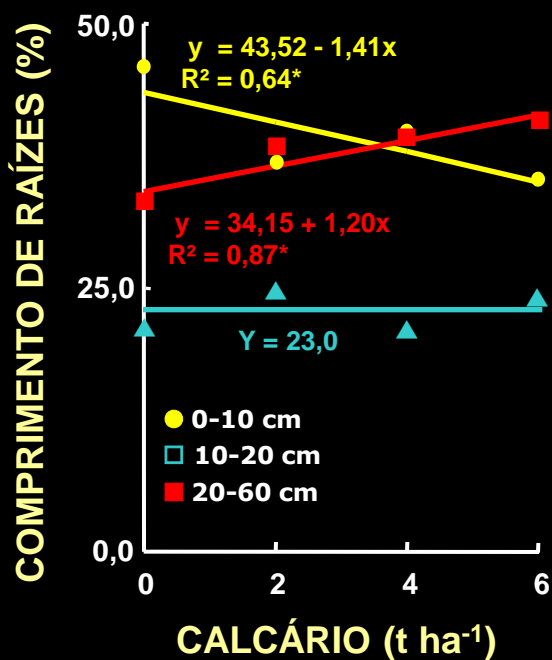
Saturação por bases, para diferentes profundidades do solo sob plantio direto, 11 meses após a calagem na superfície e 9 meses após a aplicação de nitrogênio (N-NH₄NO₃) em cobertura na aveia-preta . **: $P < 0,01$.

Manejo de resíduos orgânicos



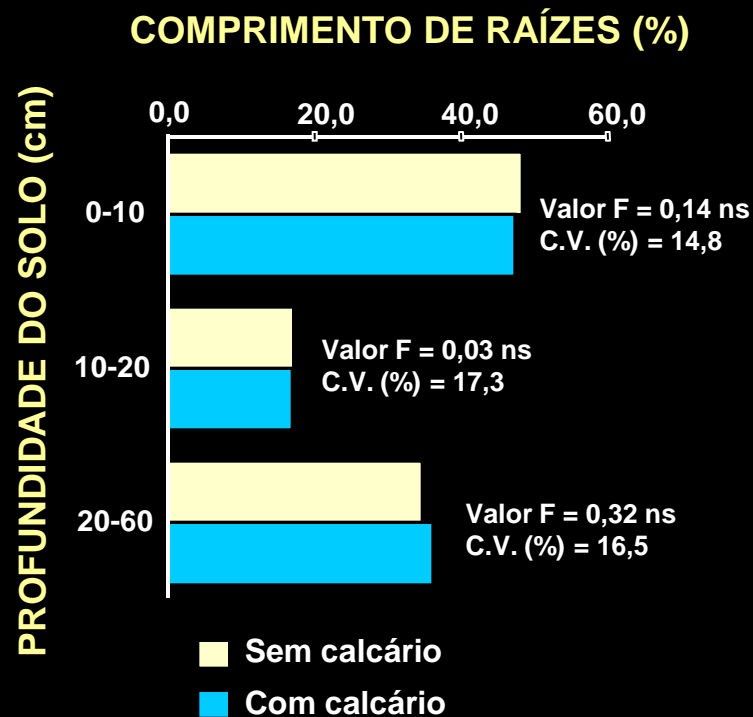
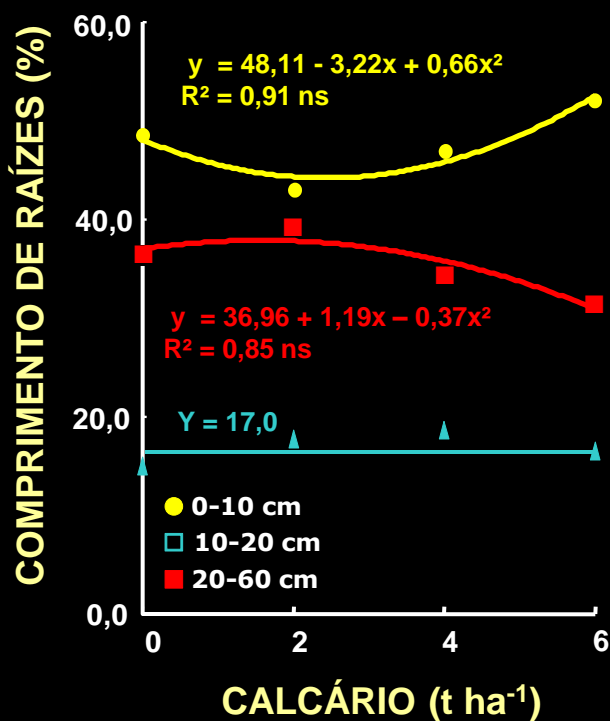
Acidez ativa, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ trocáveis no solo sem e com cobertura de aveia preta, depois da colheita do milho em 2002 e da soja em 2003. **: $P < 0,01$ pelo teste F. Calcário aplicado na superfície em 2000.

Calagem na Superfície e Crescimento de Raízes



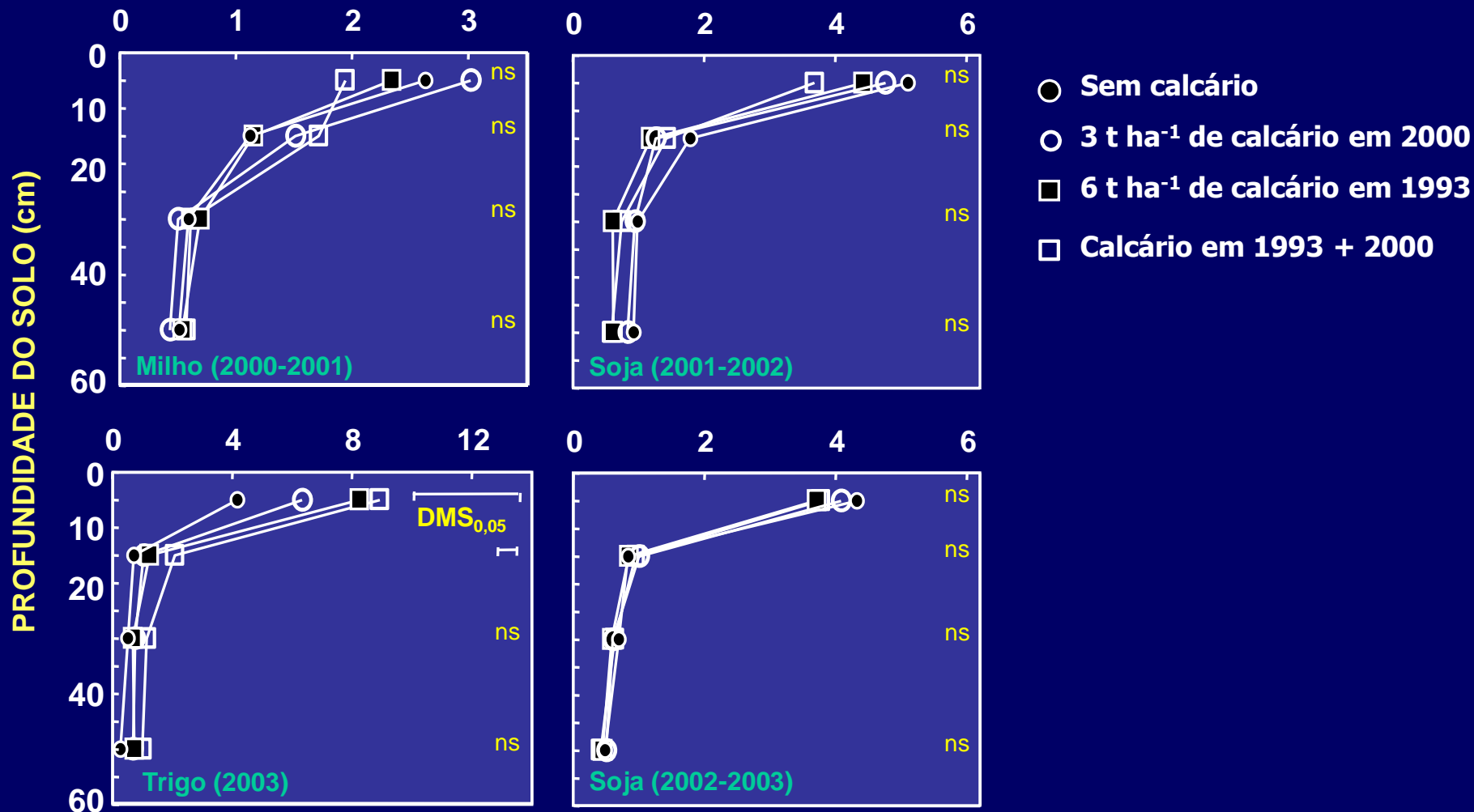
Distribuição relativa do comprimento de raízes de milho considerando a aplicação de doses e a reaplicação (3 t ha⁻¹) de calcário na superfície em sistema plantio direto.
ns: não significativo, **: $P < 0,01$ e *: $P < 0,05$.

Calagem na Superfície e Crescimento de Raízes



Distribuição relativa do comprimento de raízes de soja considerando a aplicação de doses e a reaplicação (3 t ha⁻¹) de calcário na superfície em sistema plantio direto.
ns: não significativo.

DENSIDADE DE COMPRIMENTO RAIZES (cm cm⁻³)



Densidade de comprimento de raízes de milho, soja e trigo no perfil do solo. Calcário aplicado na superfície em plantio direto.

Nutrição de Ca com a Aplicação de Calcário

CÁLCIO - SOJA

Calcário	1995/1996	1996/1997	1998/1999	2001/2002 ⁽²⁾	2002/2003 ⁽²⁾	2003/2004 ⁽²⁾
t ha ⁻¹	Ca nas folhas (g kg ⁻¹)					
0	8,3	8,0	9,8	6,4	6,7	8,1
2	8,2	8,9	11,1	6,9	7,2	8,4
4	9,5	8,8	11,3	6,3	7,5	7,7
6	8,8	8,6	12,3	7,1	7,8	7,9
Efeito ⁽¹⁾	ns	Q**	L*	ns	L**	ns

(1) Q e L: efeito quadrático e linear por análise de regressão, ns: não-significativo, *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.

(2) Dados não publicados.

Calcário dolomítico aplicado na superfície em 1993

Nutrição de Ca com a Aplicação de Calcário

CÁLCIO - CEREAIS

Calcário	Trigo 1996	Triticale ⁽²⁾ 1997	Milho 2000/2001	Milho ⁽²⁾ 2004/2005
t ha ⁻¹	Ca nas folhas (g kg ⁻¹)			
0	2,1	3,4	5,8	5,7
2	2,5	3,8	6,7	6,9
4	2,5	4,0	6,8	7,0
6	2,6	3,9	7,4	7,9
Efeito ⁽¹⁾	ns	ns	L**	L*

(1) L: efeito linear por análise de regressão, ns: não-significativo, *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.

(2) Dados não publicados.

Calcário dolomítico aplicado na superfície em 1993

Nutrição de Mg com a Aplicação de Calcário

MAGNÉSIO - SOJA

Calcário	1995/1996	1996/1997	1998/1999	2001/2002 ⁽²⁾	2002/2003 ⁽²⁾	2003/2004 ⁽²⁾
t ha ⁻¹	Mg nas folhas (g kg ⁻¹)					
0	3,6	2,4	2,4	3,7	3,8	4,2
2	3,6	2,5	2,7	4,0	4,1	4,3
4	4,0	2,5	3,0	3,7	4,2	4,2
6	4,0	2,6	3,1	4,0	4,3	4,2
Efeito ⁽¹⁾	ns	L**	L**	ns	L**	ns

(1) L: efeito linear por análise de regressão, ns: não-significativo e **: $P < 0,01$.

(2) Dados não publicados.

Calcário dolomítico aplicado na superfície em 1993

Nutrição de Mg com a Aplicação de Calcário

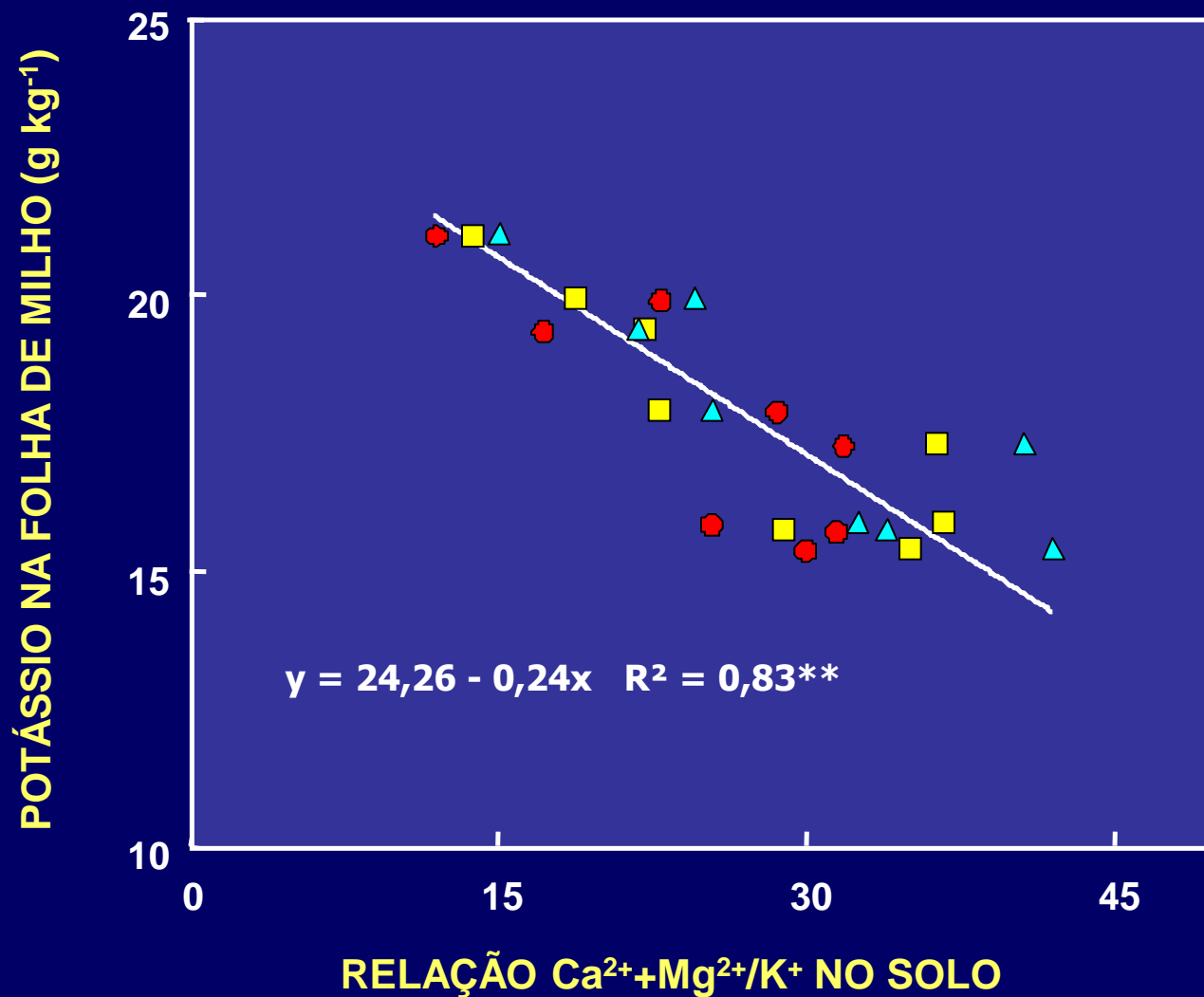
MAGNÉSIO - CEREAIS

Calcário	Trigo 1996	Triticale ⁽²⁾ 1997	Milho 2000-2001	Milho ⁽²⁾ 2004/2005
t ha ⁻¹	Mg nas folhas (g kg ⁻¹)			
0	1,4	1,5	1,8	2,3
2	1,6	1,7	3,1	3,4
4	1,8	1,8	3,4	3,2
6	1,9	2,1	3,9	3,6
Efeito ⁽¹⁾	L**	L**	L**	L**

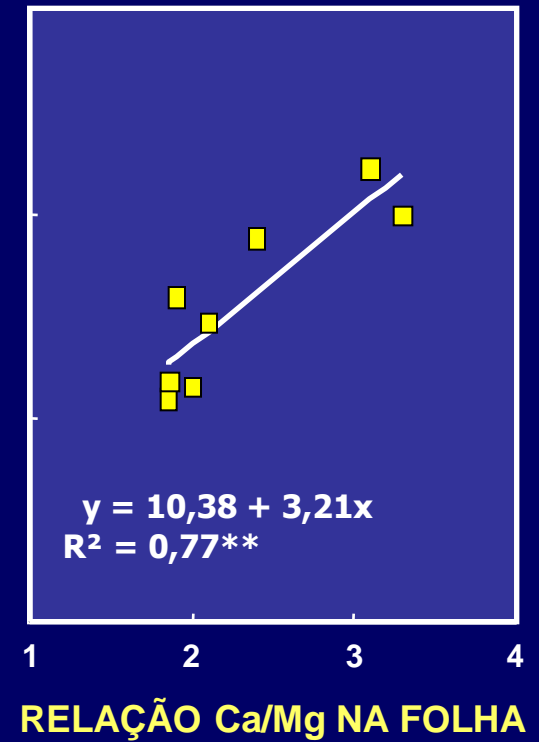
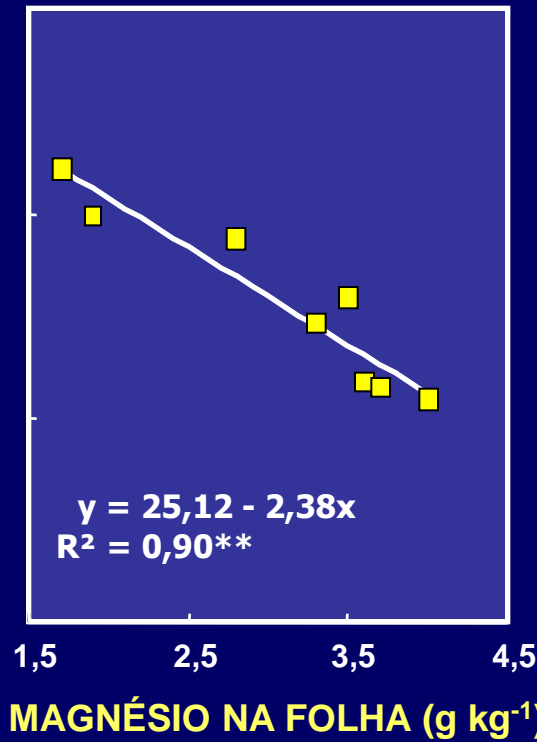
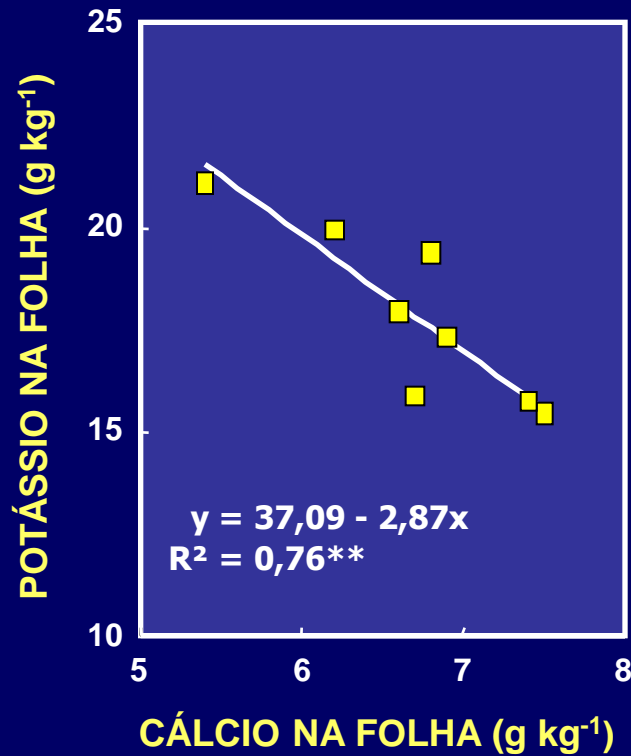
(1) L: efeito linear por análise de regressão, **: $P < 0,01$.

(2) Dados não publicados.

Calcário dolomítico aplicado na superfície em 1993



Concentração de potássio no tecido foliar de milho em função da relação $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}/\text{K}^{+}$ no solo, na profundidade de 0-20 cm (● = 0-5 cm, ▲ = 5-10 cm e ■ = 10-20 cm), em sistema plantio direto. *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.



Relações entre a concentração de potássio e a de cálcio, magnésio e Ca/Mg no tecido foliar de milho cultivado em sistema plantio direto. **: $P < 0,01$.

Calagem na Superfície e Produção de Grãos

SOJA

Análise do solo (0-20 cm)			Produção média de grãos na ausência de calcário	Dose de calcário na superfície	Aumento médio na produção	Fonte
pH	Al ³⁺	M.O.				
	mmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	
4,1 (1)	8,5	46	1.792	5,5	42	Oliveira & Pavan (1996)
4,7 (2)	23,1	21	2.419	10,7	22	Pöttker & Ben (1998)
4,6 (2)	18,8	25	2.808	7,2	20	Pöttker & Ben (1998)
4,1 (1)	12,2	38	3.000	2,0	19	Sá (1999)
4,5 (1)	6,0	33	2.775	4,0	9	Caires et al. (2000)
4,0 (1)	9,0	34	2.715	6,0	10	Caires et al. (2001)
4,6 (1)	3,0	53	3.066	4,5	6	Caires et al. (2003)

(1) Determinação em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹

(2) Determinação em H₂O

Calagem na Superfície e Produção de Grãos

MILHO

Análise do solo (0-20 cm)			Produção média de grãos na ausência de calcário	Dose de calcário na superfície	Aumento médio na produção	Fonte
pH	Al ³⁺	M.O.				
	mmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	
4,7 ⁽²⁾	23,1	21	4.307	10,7	15	Pöttker & Ben (1998)
4,6 ⁽²⁾	18,8	25	6.464	7,2	11	Pöttker & Ben (1998)
4,1 ⁽¹⁾	12,2	38	8.205	2,0	9	Sá (1999)
4,5 ⁽¹⁾	6,0	33	9.517	4,0	4	Caires et al. (2000)
4,5 ⁽¹⁾	6,0	33	9.490	4,0	2	Caires et al. (2002)
4,6 ⁽¹⁾	3,0	53	8.750	4,5	12	Caires et al. (2004)

⁽¹⁾ Determinação em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹

⁽²⁾ Determinação em H₂O

Calagem na Superfície e Produção de Grãos

TRIGO

Análise do solo (0-20 cm)			Produção média de grãos na ausência de calcário	Dose de calcário na superfície	Aumento médio na produção	Fonte
pH	Al ³⁺	M.O.				
	mmol _c dm ⁻³	g dm ⁻³	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	%	
4,7 ⁽²⁾	23,1	21	1.773	10,7	6	Pöttker & Ben (1998)
4,6 ⁽²⁾	18,8	25	2.172	7,2	10	Pöttker & Ben (1998)
4,1 ⁽¹⁾	12,2	38	1.865	2,0	4	Sá (1999)
4,5 ⁽¹⁾	6,0	33	1.365	4,0	34	Caires et al. (2000)
4,6 ⁽¹⁾	3,0	53	3.685	4,5	< 1	Caires et al. (2002)

⁽¹⁾ Determinação em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹

⁽²⁾ Determinação em H₂O

Altas Produtividades das Culturas em Solos com Elevada Acidez: Explicações

- ❑ Materiais vegetais na superfície - efeitos positivos - acidez (redução do Al: aumento do pH e complexação orgânica)
- ❑ Alto teor de M.O. => Maior Capacidade de Troca de Cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} trocáveis suficientes em valores baixos de pH)
- ❑ Adequada absorção de nutrientes pelas plantas (Maior umidade disponível no solo)
- ❑ Genótipos com tolerância ao alumínio

Especiação e atividade do alumínio na solução do solo, em função de sistemas de manejo, na profundidade de 0-5 cm, para pH = 5,0 e Al = 0,5 mmol_c dm⁻³ (8 anos em sistema plantio direto e convencional)

Espécies e atividade química	Plantio Direto	Convencional
Espécies		%
Al ³⁺	2,5	4,0
AlOH ²⁺	1,6	2,6
Al(OH) ₂ ⁺	25,0	42,0
Al(OH) ₃ ⁰	0,7	1,3
Al(OH) ₄ ⁻	< 0,1	< 0,1
AlSO ₄ ⁺	0,2	0,6
AlH ₂ PO ₄ ²⁺	< 0,1	< 0,1
Al-Ligante orgânico	70,0	49,0
Atividade do Al	5,7 x 10⁻⁶	1,0 x 10⁻⁵

FONTE: Salet et al. (1999) - Rev. Cient. Unicruz

Produção de grãos de trigo em função da calagem na superfície em sistema plantio direto



Ano: 2003

Calagem: 1993

Al³⁺ TROCÁVEL
(mmol_c dm⁻³)

SATURAÇÃO
Al³⁺ (%)

0-5 cm 0 a 7

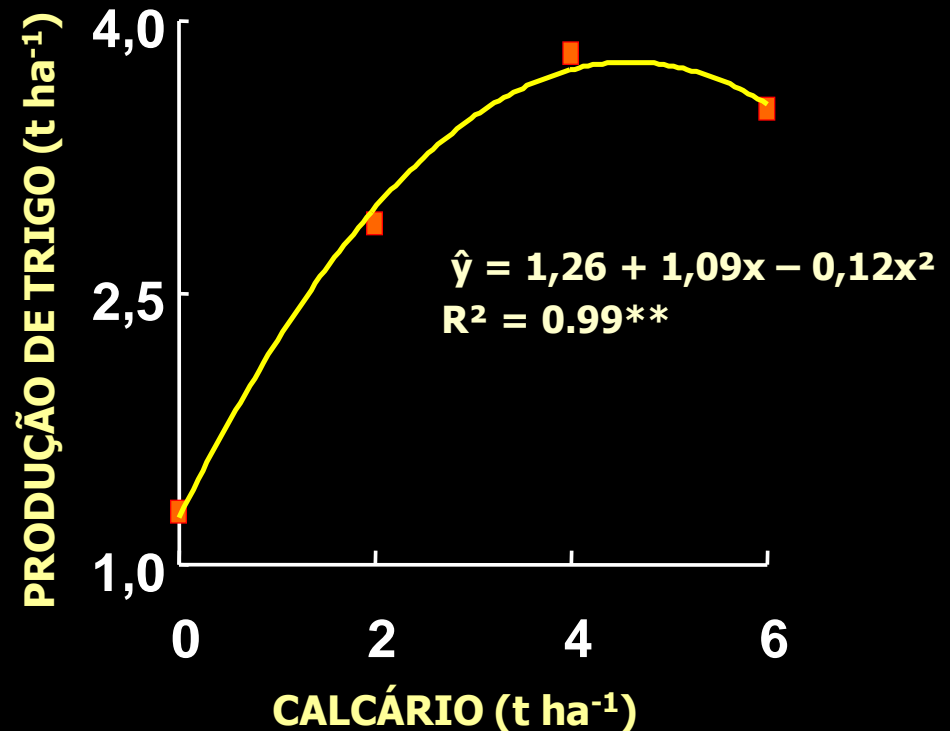
0 a 20

5-10 cm 1 a 11

2 a 34

10-20 cm 3 a 10

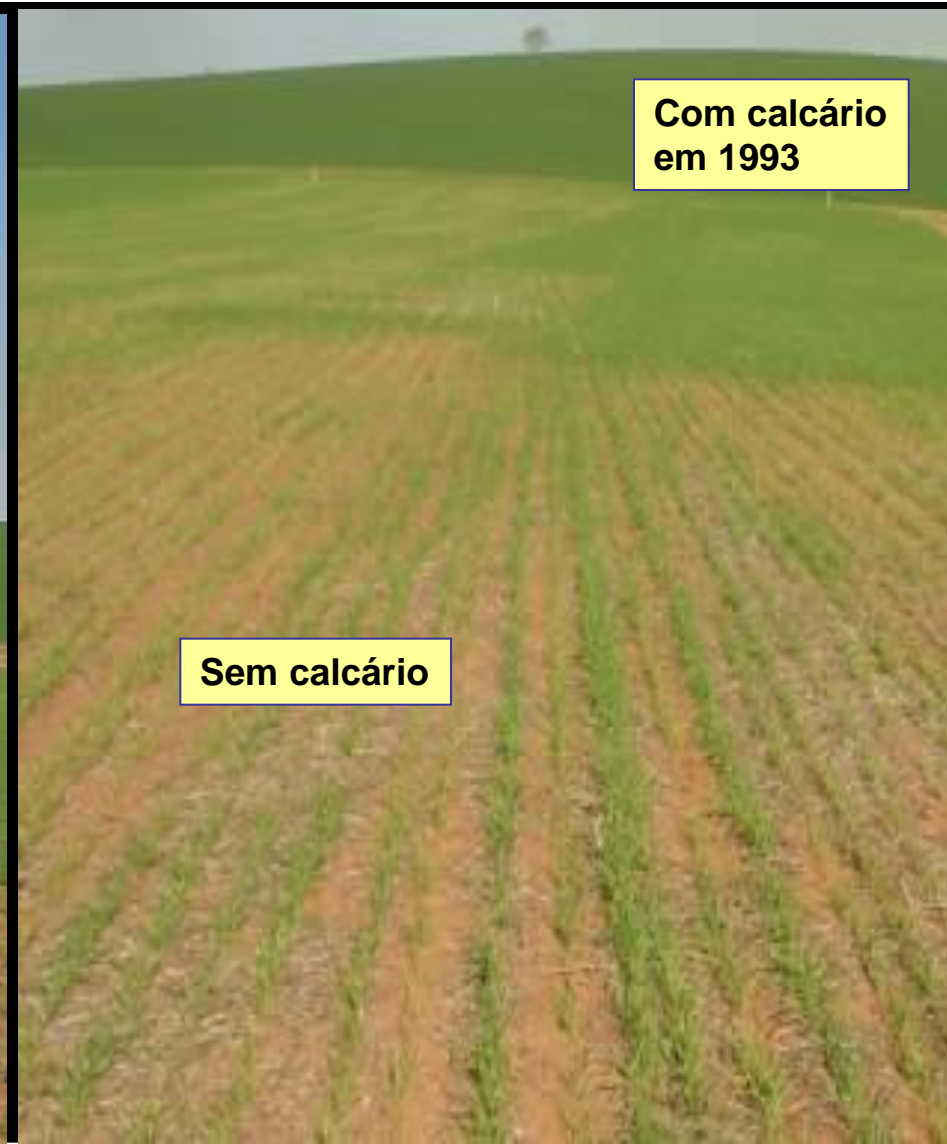
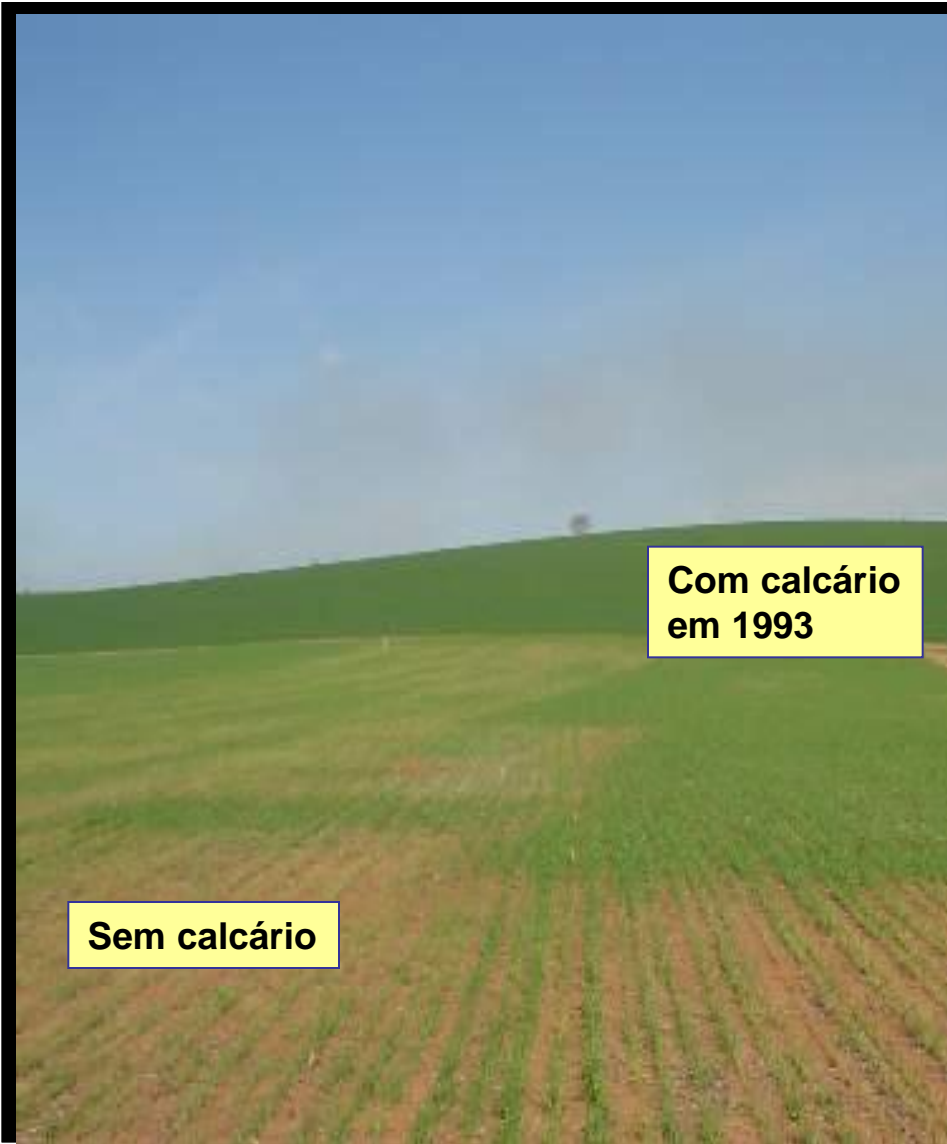
9 a 35



Trigo – Inverno de 2003

Fazenda Estância dos Pinheiros – Ponta Grossa – PR

Problemas com acidez em condições de déficit hídrico



Trigo – Inverno de 2004

Fazenda Sr. Nonô Pereira – Palmeira – PR

Problemas com acidez em condições de déficit hídrico

Sem calcário há longo período



Triticale – Inverno de 2006

Fundação ABC – Piraí do Sul – PR

Problemas com acidez em condições de déficit hídrico

Sem calcário



Com calcário
em 2003



Triticale – Inverno de 2006

Fundação ABC – Piraí do Sul – PR

Problemas com acidez em condições de déficit hídrico

Análise de solo comparativa entre A e B

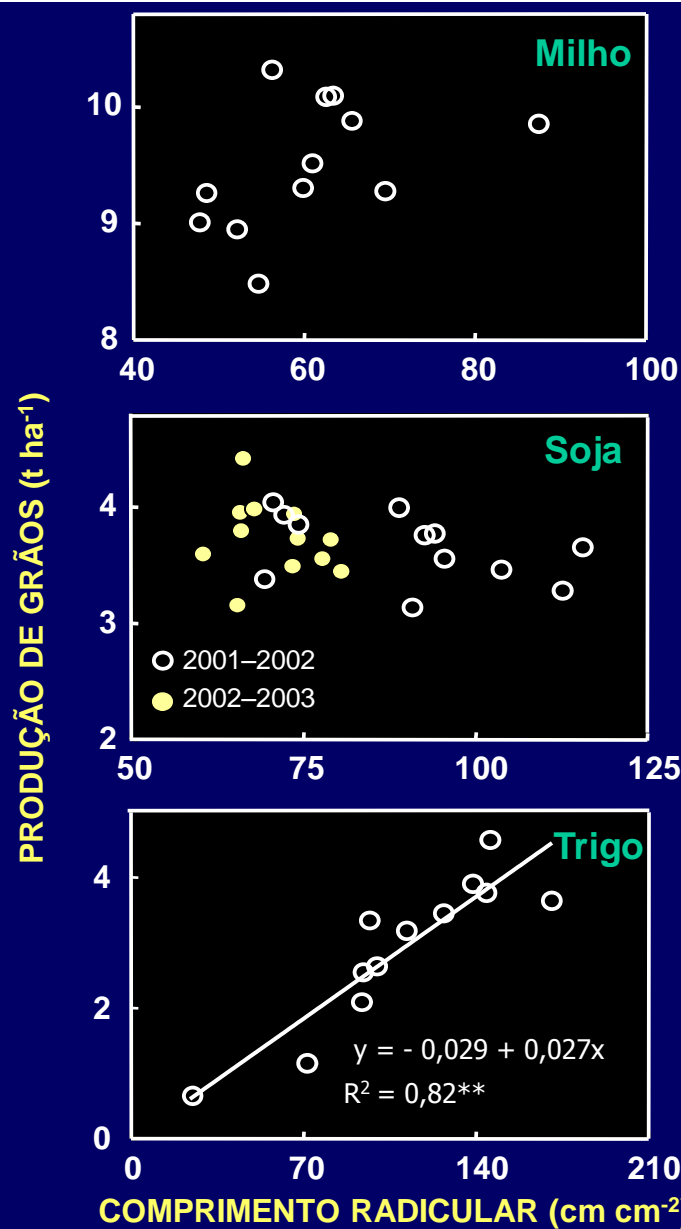
amostra	P resina	MO	pH	H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	Al
0 - 20 cm												
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³					%	
A	13	49	4,6	72	5	2,6	26	15	43,6	115,6	38	10,3
B	11	44	5,2	42	0	1,2	36	22	59,2	101,2	58	0,0

Sem calcário



Com calcário em 2003





Sem limitação hídrica

Sem limitação hídrica

Com limitação hídrica

Produção de milho, soja e trigo em sistema plantio direto influenciada pelo comprimento radicular por unidade de área superficial de solo até a profundidade de 60 cm. **: $P < 0,01$.

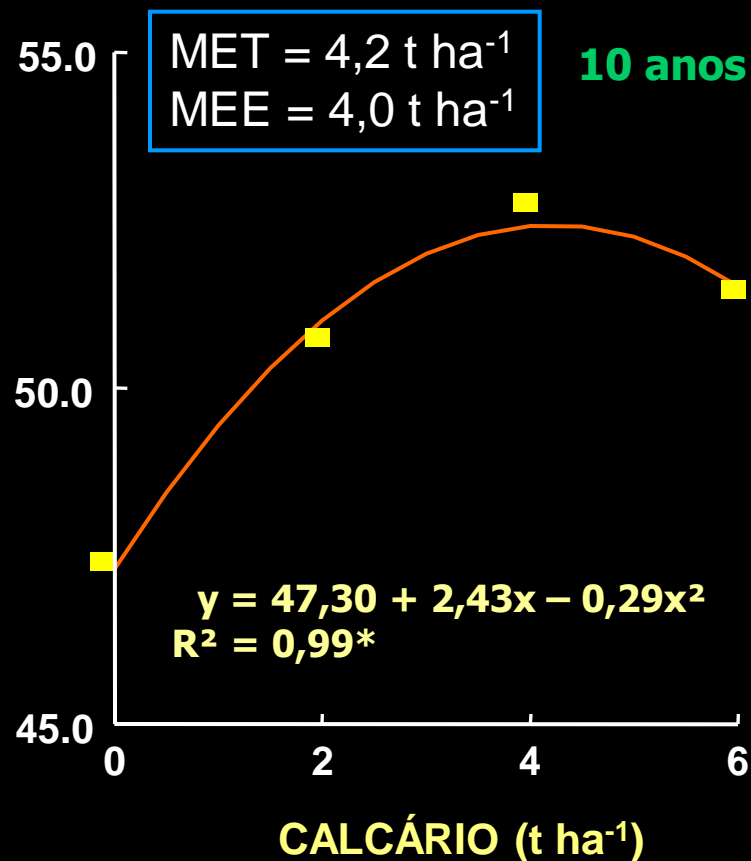
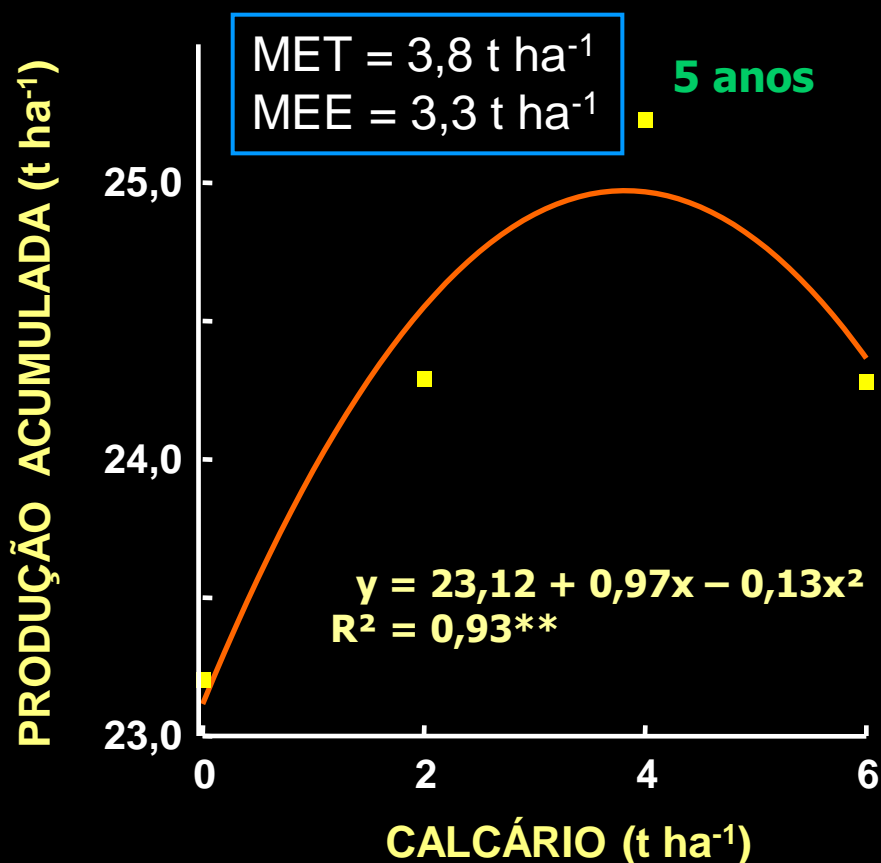
FONTE: Caires et al. (2007) - Submetido para publicação

Necessidade de Calagem para o Manejo de Solos Ácidos em Sistema Plantio Direto

CRITÉRIOS DE RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM EM SISTEMA PLANTIO DIRETO - *Informações conflitantes*

Cálculo da Necessidade de Calagem - Análise química do solo ???
Frequência de aplicação de calcário na superfície ???

Produção acumulada de grãos em função da calagem na superfície em sistema plantio direto



Produção acumulada de grãos de culturas em rotação no período de 1993 a 2003.
Rotação: soja, milho, soja, trigo, soja, triticales, soja, soja, soja, milho, soja, soja e trigo.
** : $P < 0,01$ e * : $P < 0,05$

Produção acumulada de grãos de culturas em rotação no sistema plantio direto em função de tratamentos de calagem

Tratamento	Soja	Cevada	Soja	Trigo	Soja	Milho	Soja	Produção Acumulada
	(1998-99)	(1999)	(1999-00)	(2000)	(2000-01)	(2001-02)	(2002-03)	
t ha ⁻¹								
Sem calcário	1,907	1,667	3,317	3,281	3,802	8,531	3,265	25,770
Calcário na superfície ¹	1,934	1,706	3,461	3,430	3,896	9,938	3,549	27,914
Calcário na superfície ²	2,123	1,671	3,781	3,443	3,971	9,370	3,338	27,697
Calcário incorporado	2,008	1,726	3,354	3,516	4,009	9,431	3,518	27,562
DMS _{0,05} ³	655	476	234	610	354	1,536	763	1,450

¹ 1/3 da dose de calcário por ano sobre a superfície durante 3 anos.

² Dose total de calcário sobre a superfície em uma única aplicação.

³ Diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a $P = 0,05$.

Retorno econômico de tratamentos de calagem durante 5 anos em sistema plantio direto – Preços em dólares (US\$)

(Rotação de culturas: soja, cevada, soja, trigo, soja, milho e soja)

Tratamento	Receita bruta das culturas ³	Custo da calagem			Retorno da calagem	
		Calcário ⁴	Distribuição ⁵	Incorporação ⁶	5 anos	Média anual
		\$ ha ⁻¹			\$ ha ⁻¹	\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹
Sem calcário	3301	-	-	-	-	-
Calcário na superfície ¹	3536	45	15	-	175	35
Calcário na superfície ²	3545	45	5	-	194	39
Calcário incorporado	3511	45	10	44	111	22

¹ 1/3 da dose de calcário por ano sobre a superfície durante 3 anos.

² Dose total de calcário sobre a superfície em uma única aplicação.

³ Valor t⁻¹: soja \$163,00, cevada \$96,70, trigo \$116,70 e milho \$88,30.

⁴ Custo t⁻¹: \$10,00.

⁵ Custo ha⁻¹: \$5,00, incluídos trator, máquina e mão-de-obra durante a operação.

⁶ Custo da incorporação do calcário com arado de disco e grade, incluídos trator, máquina e mão-de-obra durante a operação.

Conclusões e Recomendações

- ❑ A calagem na superfície em sistema plantio direto apresenta eficiência na correção da acidez do solo e no suprimento de Ca e Mg como nutrientes. Mais estudos são necessários para melhor elucidar os mecanismos envolvidos na melhoria das condições químicas do subsolo por meio da calagem na superfície.
- ❑ **Do ponto de vista da nutrição das plantas em Ca e Mg, seria importante a realização de estudos envolvendo diferentes fontes de calcário com variados teores de Mg.**
- ❑ **A resposta das culturas à calagem na superfície depende do regime hídrico que ocorre durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. A complexação do Al com ligantes orgânicos e a toxicidade do Al para as plantas cultivadas em plantio direto precisam ser mais estudadas em condições de seca.**

Conclusões e Recomendações

- ❑ A calagem na superfície em sistema plantio direto deve ser recomendada somente para solo com pH (CaCl_2) $< 5,6$ ou $V < 65\%$, na camada de 0-5 cm.
- ❑ O cálculo da necessidade de calagem na superfície em sistema plantio direto deve ser feito pelo método da elevação da saturação por bases para 70%, em amostra de solo da camada de 0-20 cm.
- ❑ A dose de calcário calculada deve ser distribuída sobre a superfície em uma única aplicação ou de forma parcelada durante até 3 anos.

MUITO OBRIGADO



Laboratório de Fertilidade do Solo

Eduardo Fávero Caires

Tel. (42) 3220-3091

E-mail: efcaires@uepg.br