







VI Simpósio Regional • IPNI Brasil

BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

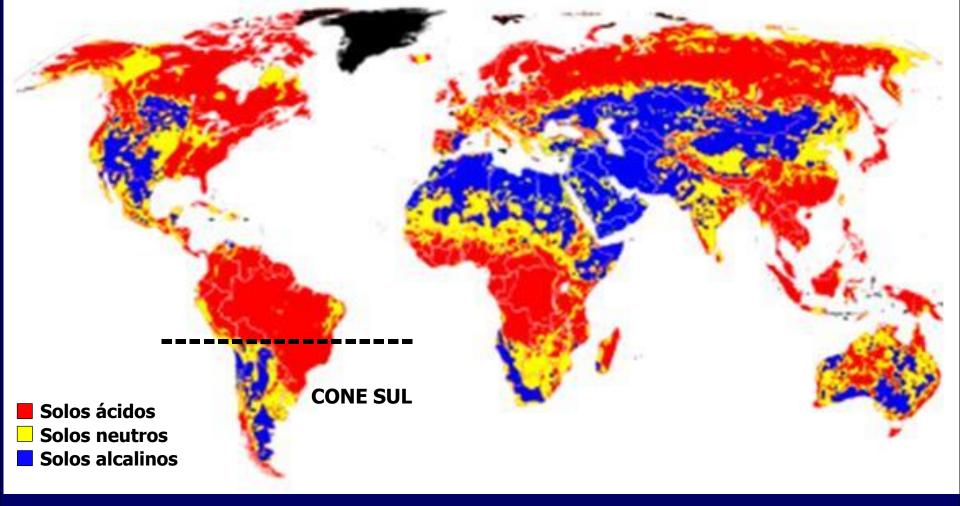
Foz do Iguaçu – PR ● 20 e 21/MAIO/2014

Manejo da Acidez do Solo como Fundamento para BPUFs

Eduardo Fávero Caires

Universidade Estadual de Ponta Grossa





Solos ácidos: deficiência de Ca e toxicidade por Al

Importância do Cone Sul na Produção de Soja

América do Sul: 160 milhões de toneladas (56% da produção mundial) Brasil (56%) Argentina (34%) Paraguai (6%) Uruguai (2%)

Sistema Plantio Direto: 70% da área total cultivada

Sistema Plantio Direto



Produção de palha sobre a superfície



Base de sustentação do sistema

A origem do Próton (H+) e a Acidificação do Solo

Dissociação do gás carbônico

$$CO_2 + H_2O \stackrel{\rightarrow}{\leftarrow} H_2CO_3 \stackrel{\rightarrow}{\leftarrow} H^+ + HCO_3^-$$

pH < 5,2 - A dissociação não ocorre

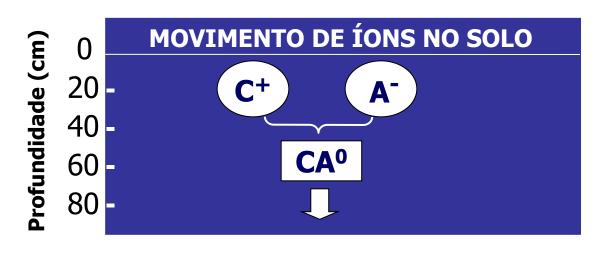
Fertilizantes Acidificantes - Nitrogenados

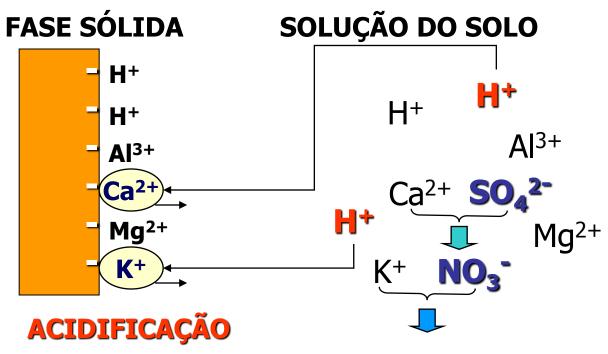
$$(NH_4)_2 SO_4 \rightarrow 2NH_4^+ + SO_4^{2-}$$

 $2NH_4^+ + SO_4^{2-} + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 4H^+ + 2H_2O + SO_4^{2-}$

NH₄⁺ → Mineralização da Matéria Orgânica

ADIÇÃO DE ÂNIONS → REMOÇÃO DE CÁTIONS → ACIDIFICAÇÃO





A Origem e o Comportamento Químico do Alumínio

ALUMÍNIO: Tem sido bastante associado com a acidez do solos (Al³⁺)

Responsável pela acidez dos solos (tropicais)
Idéia Distorcida

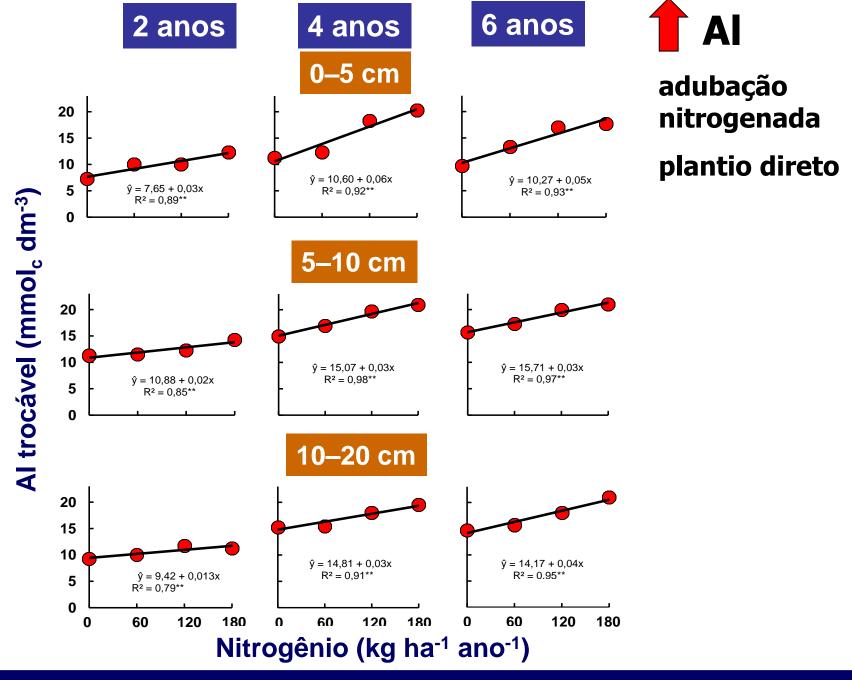
Predomina

em pH

Al
$$(OH)_3 + 3 H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3 H_2O$$

,	~	
HIDROLISE -	- SOLUÇAO	DO SOLO

$AI(H_2O)_6^{3+} + H_2O \rightleftharpoons AI(OH) (H_2O)_5^{2+} + H_3O^+$ < 4,7 $AI(OH) (H_2O)_5^{2+} + H_2O \rightleftharpoons AI(OH)_2 (H_2O)_4^+ + H_3O^+$ 4,7-6,5 $AI(OH)_2 (H_2O)_4^+ + H_2O \rightleftharpoons AI(OH)_3 (H_2O)_3^0 + H_3O^+$ 6,5-8,0 $AI(OH)_3 (H_2O)_3^0 + H_2O \rightleftharpoons AI(OH)_4 (H_2O)_2^- + H_3O^+$ > 8,0



A Acidez do Solo e o Crescimento do Sistema Radicular das Plantas



AS RAÍZES NÃO SE DESENVOLVEM BEM EM SOLOS ÁCIDOS

Falta de Ca

Severas restrições ao crescimento radicular

Excesso de Al

As raízes se tornam mais lentas em alongar, engrossam e não se ramificam normalmente. Prejudica a absorção de N, P, Ca e Mg pelas plantas

Comprimento do Sistema Radicular



IMPORTANTE

Distribuição do Sistema Radicular



FUNDAMENTAL

Correção do Perfil do Solo para o Adequado Crescimento Radicular

CALAGEM



Melhoria das condições químicas nas camadas superficiais do solo

Antes da Adoção do Sistema Plantio Direto

Incorporação Mecânica do Corretivo na Camada Arável

Sistema Plantio Direto Estabelecido

Aplicação Superficial do Corretivo sem Incorporação

GESSO AGRÍCOLA



Melhoria das condições químicas nas camadas do subsolo

Redução da toxicidade por Al Aumento do teor de Ca

A Correção da Acidez do Solo



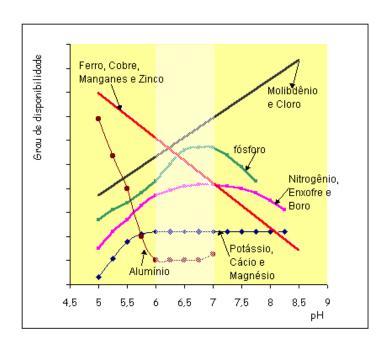
Corretivos da acidez mais usados na agricultura Rochas calcárias moídas Minerais: calcita e dolomita CaCO₃ e MgCO₃

$$CaCO_3 + H_2O \implies Ca^{2+} + HCO_3^- + OH^ MgCO_3 + H_2O \implies Mg^{2+} + HCO_3^- + OH^ OH^- + H^+ \implies H_2O$$
 $HCO_3^- + H^+ \implies H_2O + CO_2$
 $Al^{3+} + 3OH^- \implies Al(OH)_3$

Neutralização da acidez Conteúdo de neutralizantes — PN Granulometria — RE

$$PRNT (\%) = \frac{PN \times RE}{100}$$

A Calagem e a Eficiência do Uso de Nutrientes pelas Plantas



A REDUÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO COM A CALAGEM:

Favorece o crescimento das raízes

Estimula a atividade microbiana

Promove insolubilização

Al e Mn

Aumenta a disponibilidade

N, P, Ca, Mg, S e Mo

CALAGEM — PRÁTICA QUE MAIS AUMENTA A EFICIÊNCIA DO USO DE FERTILIZANTES

Recomendação Prática para Maior Eficiência da Calagem



Aplicação de calcário

No mínimo 3 meses antes da semeadura

1/2 antes da aração

1/2 após a aração incorporando com gradagem

Evitar incorporação superficial do calcário

Recomendação Válida

Sistema convencional de preparo do solo Estabelecimento do plantio direto

Acidez do Solo e Calagem na Superfície

Deposição de resíduos orgânicos Reação de adubos nitrogenados



ACIDIFICAÇÃO DO SOLO



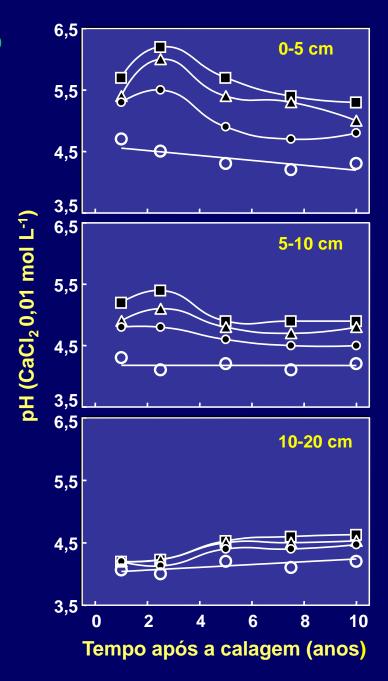
Diminuição do pH

Aumento do Al trocável e da N.C.

Calagem na superfície 🗪 Dificuldades para a recomendação

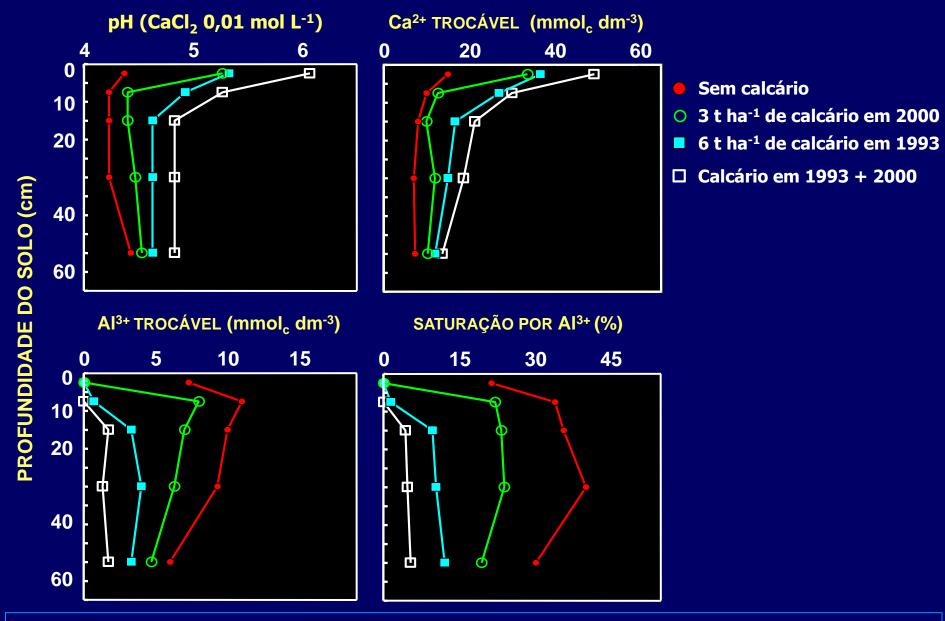
Estimativa da dose de calcário na superfície ???

Sistema Plantio Direto Estabelecido



- Sem calcário
- O 2 t ha⁻¹ de calcário
- △ 4 t ha⁻¹ de calcário
- 6 t ha⁻¹ de calcário

FONTE: Caires et al. (2005) - Agronomy Journal



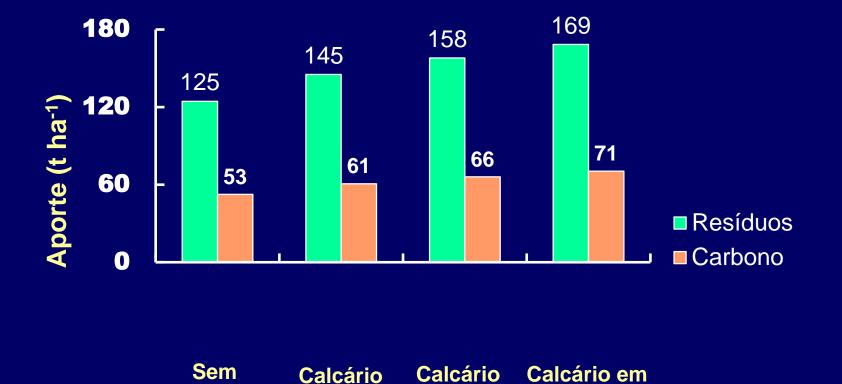
Acidez ativa, Ca²⁺ trocável, Al³⁺ trocável e saturação por alumínio no perfil do solo. Calcário aplicado na superfície em sistema plantio direto. Solo amostrado em 2003.

FONTE: Caires et al. (2008) – European Journal of Agronomy

Mecanismos Envolvidos na Correção da Acidez do Subsolo pela Calagem Superficial

- □ Formação e migração de Ca(HCO₃)₂ e Mg(HCO₃)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

ML⁰ ou ML⁻ (M = Ca ou Mg) - mobilidade no solo Subsolo: M - complexos orgânicos - deslocado pelo Al³⁺: complexos mais estáveis - redução acidez trocável



Aporte de resíduos e de carbono das culturas em um período de 15 anos (1994–2008) em experimento de calagem na superfície de longa duração em plantio direto. Sequência de culturas: soja-aveia preta + ervilhaca-milho-aveia preta-soja-trigo-soja-triticale-soja-aveia preta-soja-aveia preta-soja-aveia

em 2000

(3 t ha⁻¹)

em 1993

(6 t ha⁻¹)

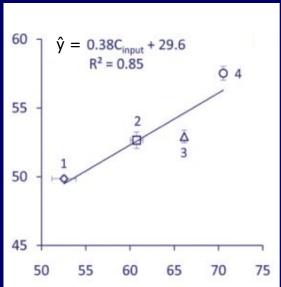
1993 + 2000

 $(6 + 3 t ha^{-1})$

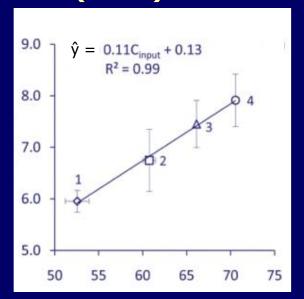
calcário

FONTE: Adaptado de Briedis, Sá, Caires et al. (2012) – Soil Science Society of America Journal

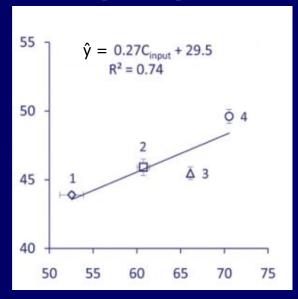
COT (t ha⁻¹)



COP (t ha⁻¹)



COAM (t ha⁻¹)



1 = Sem calcário 2 = Calcário em 1993 (6 t ha⁻¹) 3 = Calcário em 2000 (3 t ha⁻¹) 4 = Calcário em 1993 + 2000 (6 + 3 t ha⁻¹)

Aporte (input) Total de C (t ha⁻¹)

Relações entre os estoques de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), na camada de 0–20 cm, e o aporte total de carbono das culturas, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto.

<u>Sequência de culturas:</u> soja-aveia preta + ervilhaca-milho-aveia preta-soja-trigo-soja-triticale-soja-aveia preta-soja-aveia preta-soja-aveia

FONTE: Briedis, Sá, Caires et al. (2012) – Soil Science Society of America Journal

Calcário aplicado na superfície do solo (t ha⁻¹) em 1993 e 2000 (0 + 3)(0+0)(6 + 0)(6 + 3)Carbono 40 81

Caracterização de carbono (C) e cálcio (Ca) por meio de espectrômetro de dispersão de raios X na região central de agregados de tamanho 8-19 mm, considerando a calagem na superfície em um experimento de longa duração (15 anos) em plantio direto. Os agregados foram coletados em 2008.

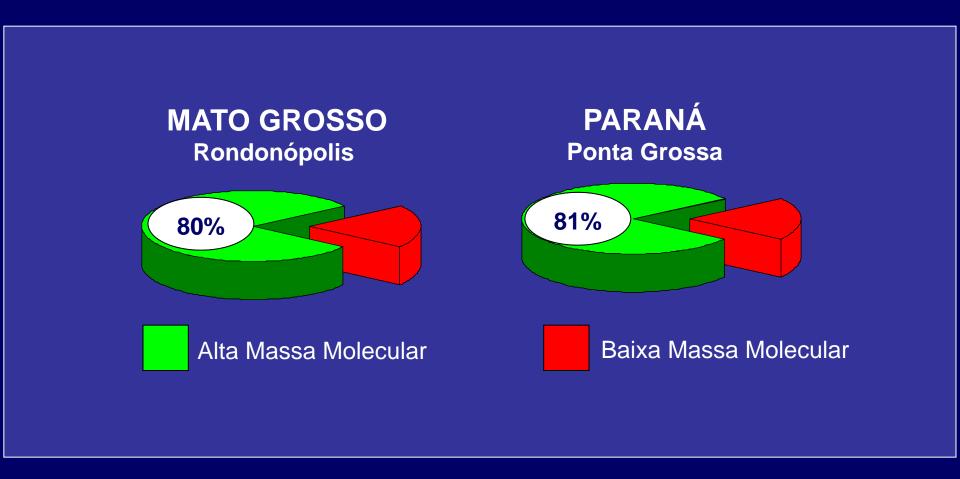
FONTE: Briedis, Sá, Caires et al. (2012) – Geoderma

Espécies e atividade de Al na solução do solo de acordo com o sistema de manejo

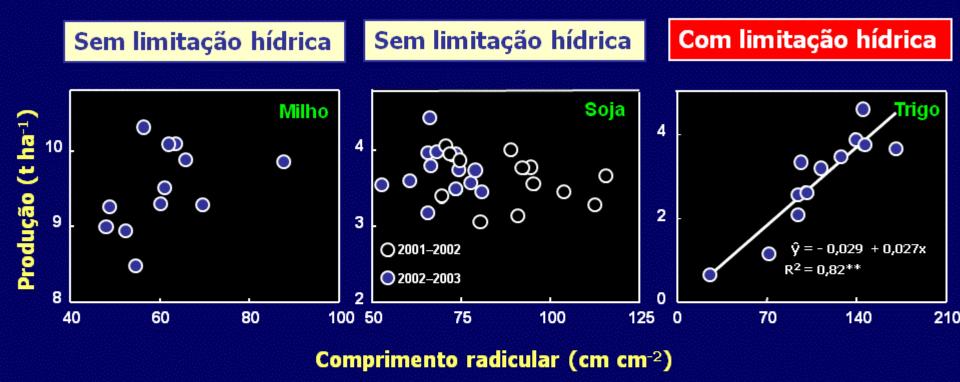
Espécie/atividade	Plantio Direto	Convencional
Espécies		%
Al ³⁺	2,5	4,0
AIOH ²⁺	1,6	2,6
AI(OH) ₂ ⁺	25,0	42,0
AI(OH) ₃ ⁰	0,7	1,3
AI(OH) ₄	< 0,1	< 0,1
AISO ₄ +	0,2	0,6
AIH ₂ PO ₄ ²⁺	< 0,1	< 0,1
Al-Ligante orgânico	70,0	49,0
Atividade do Al (mol L-1)	5.7 x 10 ⁻⁶	1.0 x 10 ⁻⁵

FONTE: Salet et al. (1999) – Revista Científica da Unicruz

Distribuição relativa do Al complexado com ânions orgânicos de alta e baixa massa molecular na solução de solos sob plantio direto



FONTE: Alleoni, Cambri, Caires et al. (2010) – Soil Science Society of America Journal



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. (2008) - European Journal of Agronomy

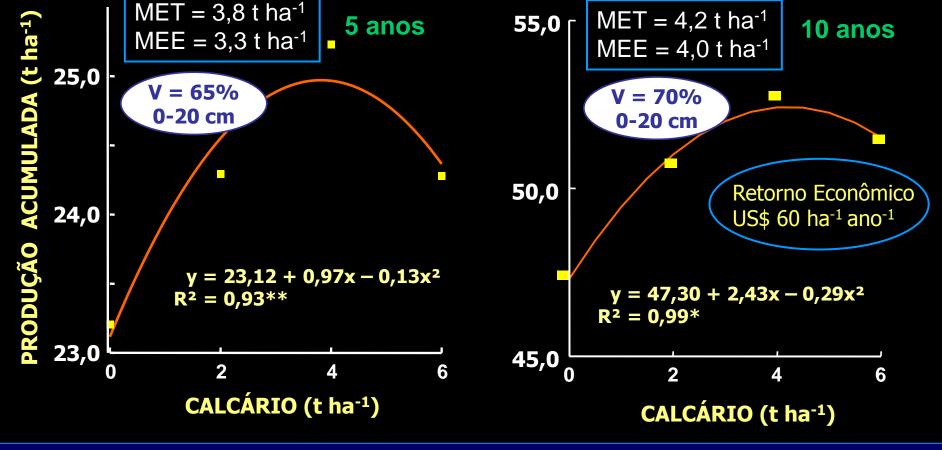




Plantas expostas à seca em plantio direto são mais afetadas pela toxicidade do Al

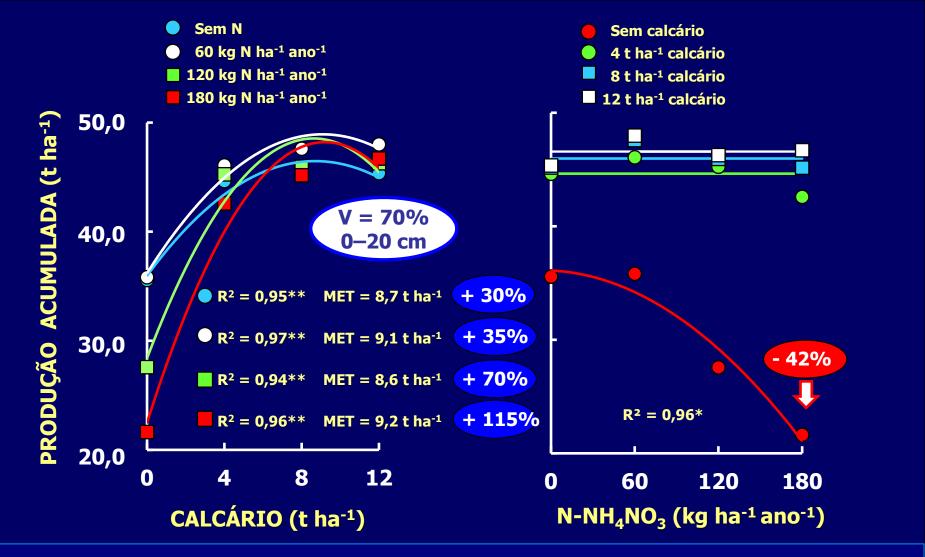
FONTE: Joris, Caires, Bini et al. (2013) – Plant Soil

Produção acumulada de grãos em função da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto



Produção acumulada de grãos de culturas em rotação no período de 1993 a 2003. Rotação: soja, milho, soja, trigo, soja, triticale, soja, soja, soja, milho, soja, soja e trigo. **: P < 0.01 e *: P < 0.05

FONTE: Caires et al. (2000) – R. Bras. Ci. Solo FONTE: Caires et al. (2005) – Agronomy Journal



Produção acumulada de grãos das culturas no período de 2004 a 2012. O calcário foi aplicado na superfície em 2004 e o N foi aplicado anualmente em cobertura, na forma de NH_4NO_3 , no perfilhamento das culturas de inverno (aveia preta ou trigo). Rotação: milho, soja, soja, soja, milho, trigo, soja, trigo, soja e feijão (duas safras). **: P < 0.01 e *: P < 0.05

FONTE: Caires et al. (2014) – Agronomy Journal (em análise)

Retorno econômico de tratamentos de calagem em sistema plantio direto — Preços em dólares (US\$) (Culturas: soja, cevada, soja, trigo, soja, milho e soja)

Tratamento	Receita		Custo da cala	Retorno da calagem		
Tratamento	bruta das culturas ³	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

Saturação por bases = 70%

Profundidade = 0-20 cm

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

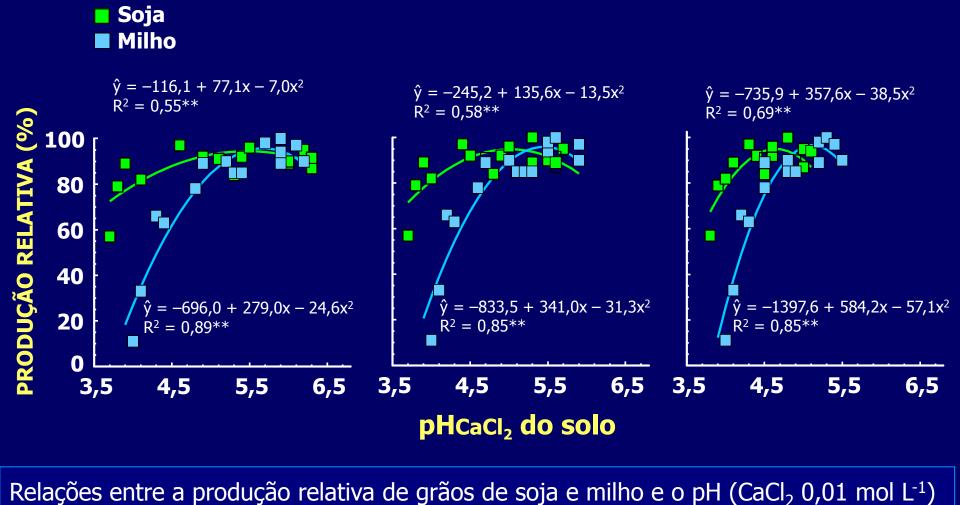
² Dose total de calcário sobre a superfície em uma única aplicação.

 $^{^{3}}$ 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 mãode-obra durante a operação.



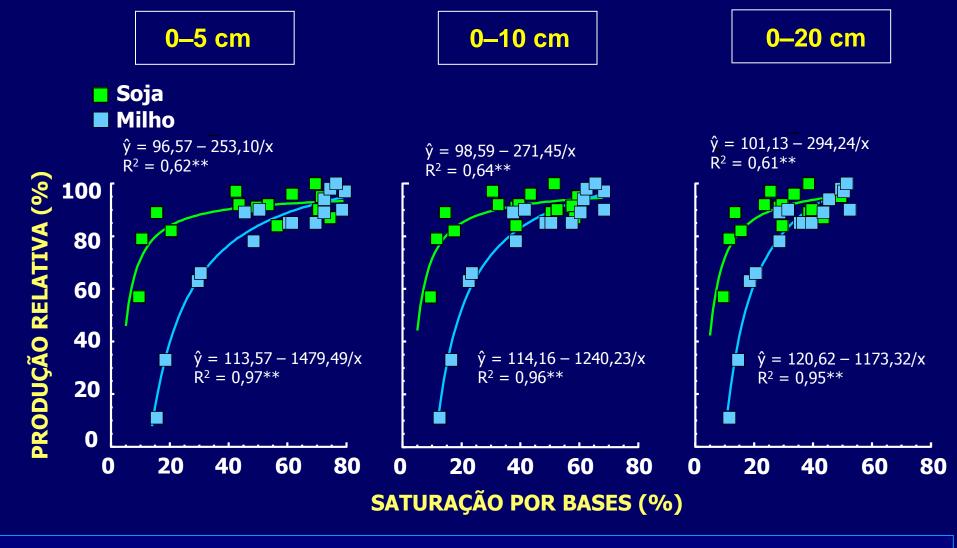
0-10 cm

0-20 cm

0-5 cm

FONTE: Adaptado de Caires et al. (2009) - Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo

do solo, nas profundidades de 0-5 cm, 0-10 cm e 0-20 cm. **P < 0.01.



Relações entre a produção relativa de grãos de soja e milho e a saturação por bases do solo, nas profundidades de 0-5 cm, 0-10 cm e 0-20 m. **P < 0,01.

FONTE: Adaptado de Caires et al. (2009) – Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo

Necessidade de Calagem para o Sistema Plantio Direto

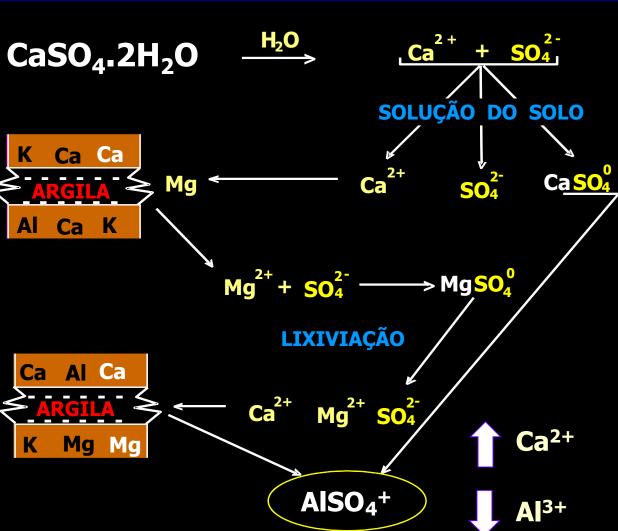
Amostragem de solo: 0-20 cm

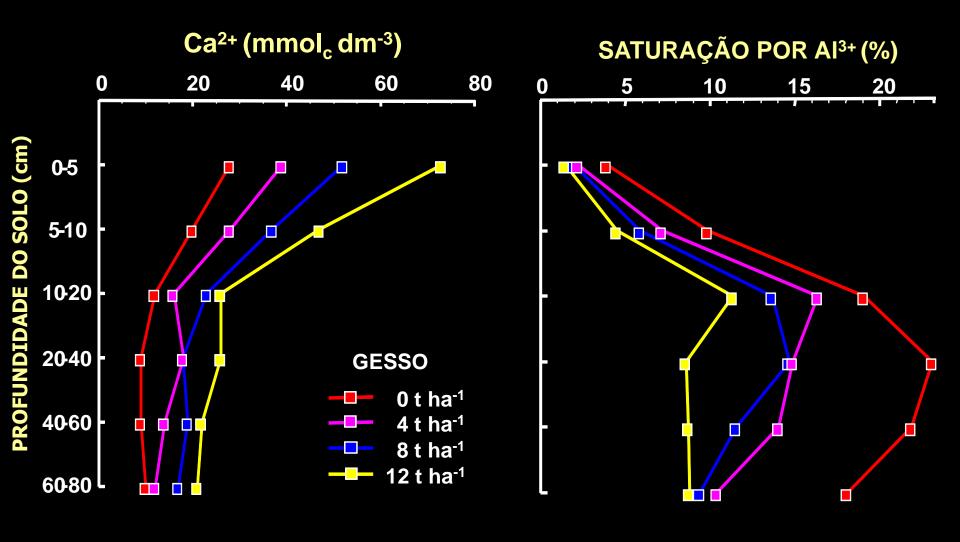
- Calcular a dose de calcário pelo método da elevação da saturação por bases para 70%
- Distribuir a dose de calcário calculada sobre a superfície do solo em uma única aplicação ou de forma parcelada durante até 3 anos
- A calagem na superfície somente deve ser recomendada para solo com pHCaCl₂ < 5,6 ou saturação por bases < 65% na profundidade de 0-5 cm
- O monitoramento da acidez na camada superficial do solo (0-5 cm) serve para auxiliar a avaliação da frequência da aplicação de calcário na superfície

Mecanismo de Ação do Gesso Agrícola



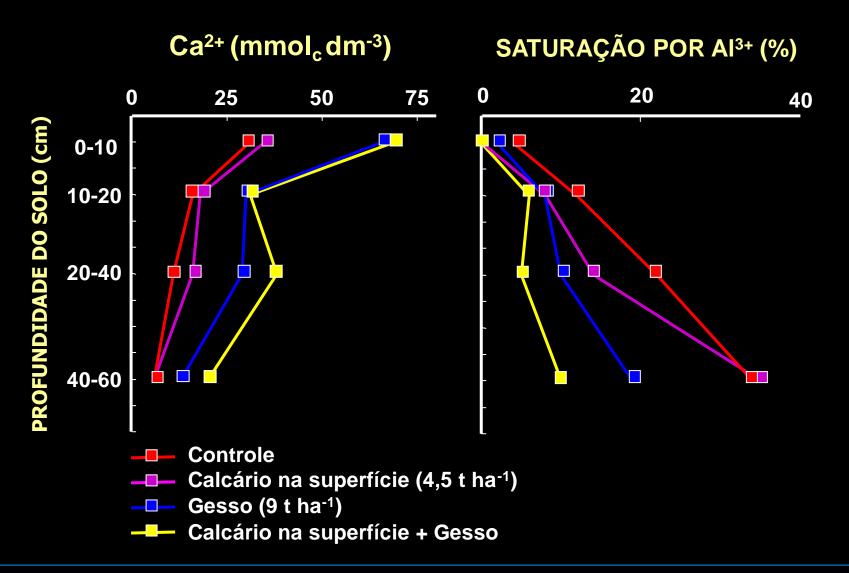
Gesso Agrícola





Efeito da aplicação de gesso, após 14 meses, sobre o teor de Ca²⁺ trocável e a saturação por Al³⁺ de um LV textura média manejado no sistema plantio direto.

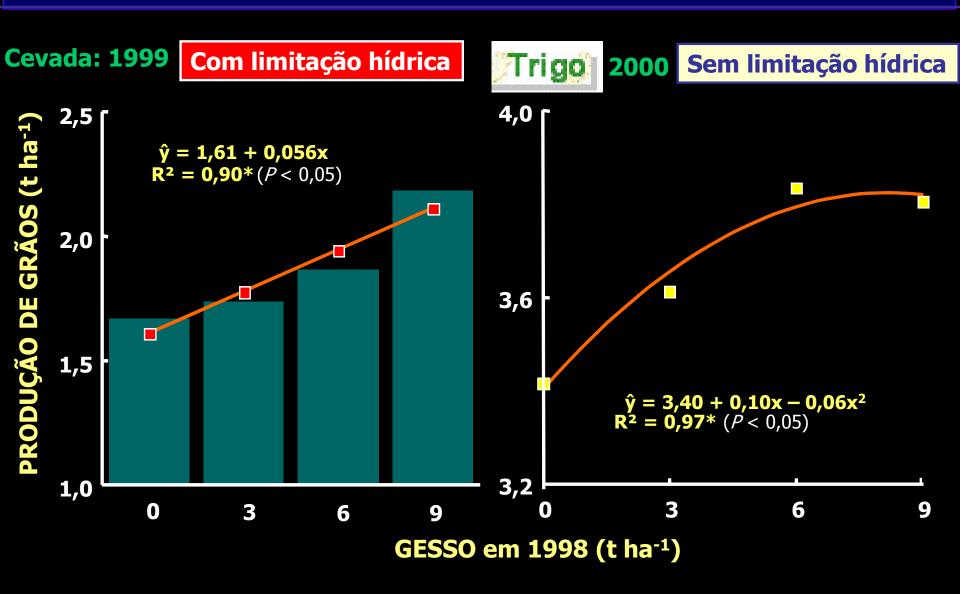
FONTE: Adaptado de Caires et al. (1999) - Revista Brasileira de Ciência do Solo



Efeito da calagem superficial, após 11 meses, e da aplicação de gesso, após 8 meses, sobre o Ca²⁺ trocável e a saturação por Al³⁺ de um LV textura argilosa manejado no sistema plantio direto.

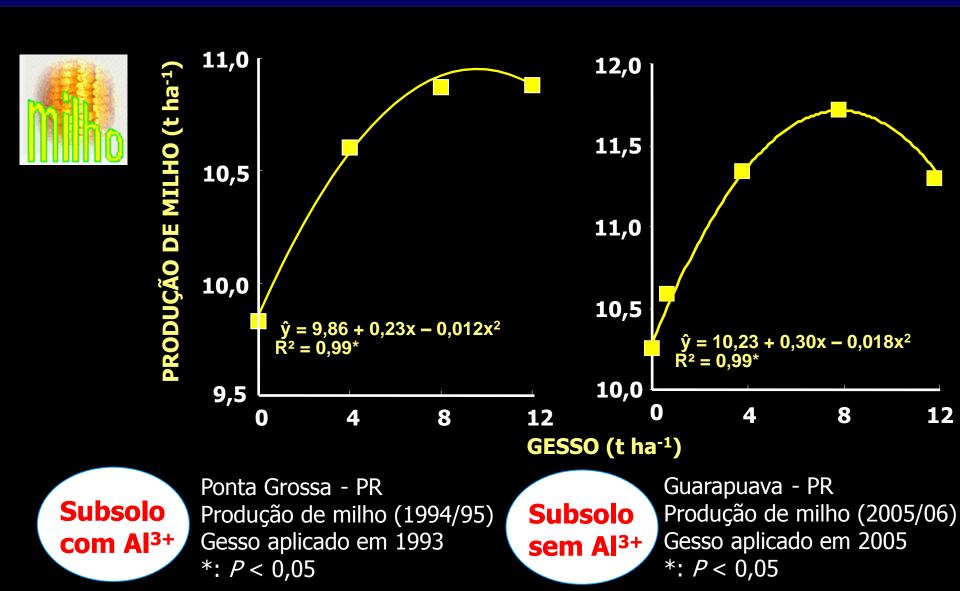
FONTE: Caires et al. (2001) – Bragantia

PRODUÇÃO DE GRÃOS DE CEVADA E TRIGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO



FONTE: Caires et al. (2002) – Scientia Agricola

PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO



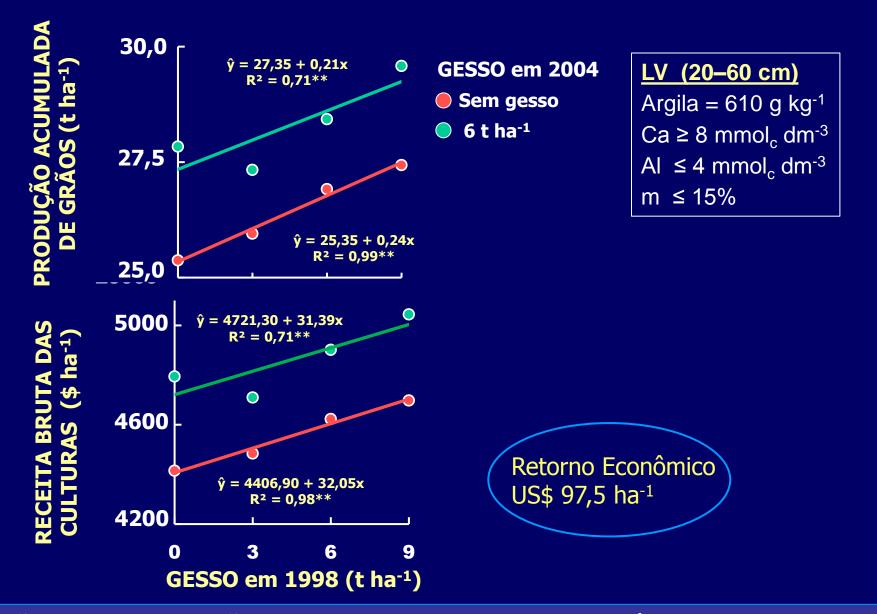
PRODUÇÃO DE GRÃOS DE MILHO, TRIGO E SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO E DA REAPLICAÇÃO DE GESSO EM UM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO **NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Tratamento	MIIIO	ırıgo	Soja	Soja	MIIIO
rratamento	(2004–2005)	(2005)	(2005–2006)	(2006–2007)	(2007–2008)
Gesso - 1998 (t ha ⁻¹)			kg ha ⁻¹		
0	9719	1864	3479	2725	8945
3	9819	1942	3234	2723	8923
6	9934	2039	3282	2781	9634
9	10453	2089	3160	2666	10040
Efeito	L*	ns	ns	ns	L**
Reaplicação de					

3 6 9 Efeito	9819 9934 10453	1942 2039 2089	3234 3282 3160	2723 2781 2666	8923 9634 10040
Reaplicação de gesso - 2004	L *	ns	ns kg ha ⁻¹	ns	L**
Sem gesso Com 6 t ha ⁻¹ Valor F	9558 10404 12,1 **	1843 2124 8,2 *	3238 3340 0,6ns	2678 2769 8,0 *	9117 9654 7,6 *

*: P < 0,05 e **: P < 0,01

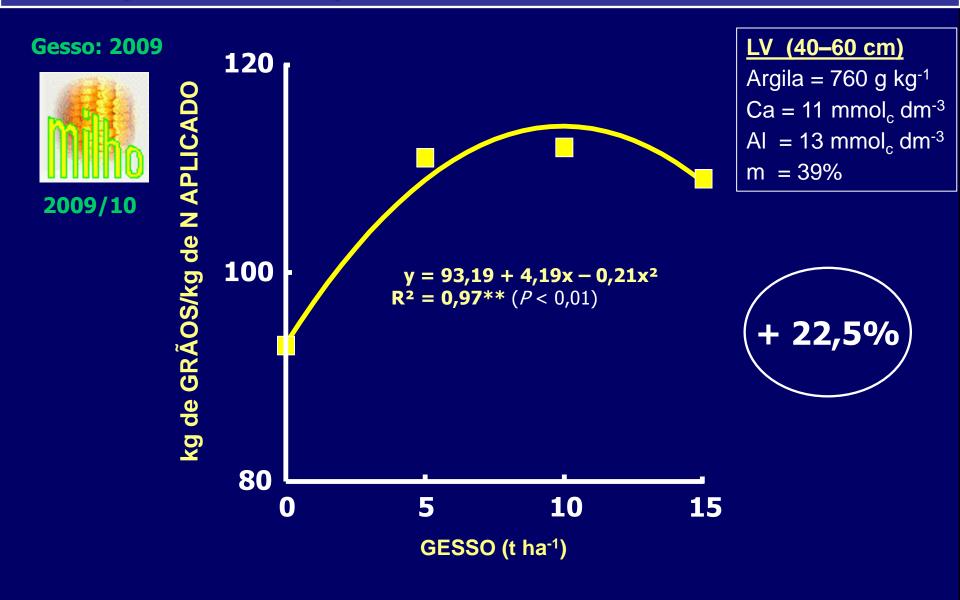
FONTE: Caires et al. (2011) – Agronomy Journal



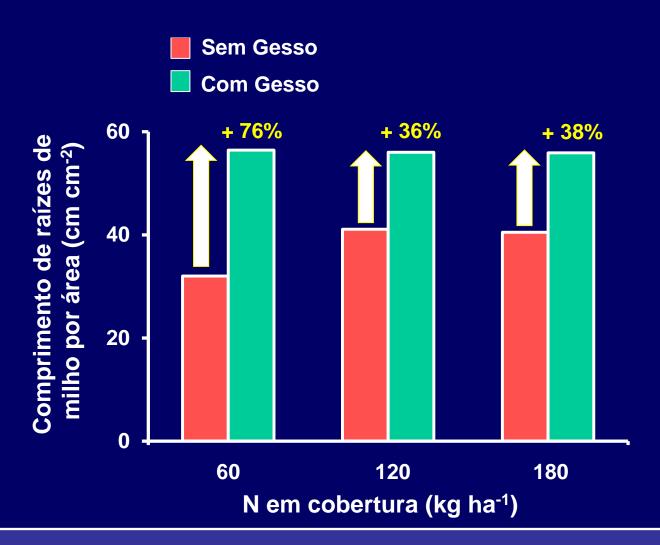
Produção acumulada de grãos e receita bruta das culturas no período de 2004 a 2008. Rotação: milho, trigo, soja, soja e milho. **: P < 0.01

FONTE: Caires et al. (2011) – Agronomy Journal

FATOR PARCIAL DE PRODUTIVIDADE DE N DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO



FONTE: Zardo Filho (2011) – Dissertação de Mestrado



Comprimento de raízes de milho por área, até a profundidade de 60 cm, em função da aplicação de gesso, considerando as doses de 60, 120 e 180 kg ha-1 de N em cobertura.

FONTE: Zardo Filho (2011) – Dissertação de Mestrado

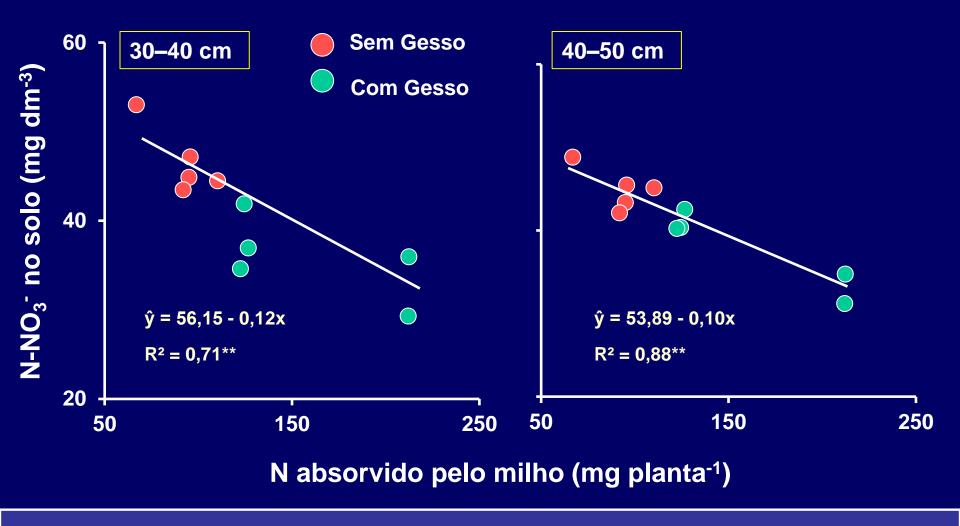
SEM GESSO

Sem cobertura 180 kg ha⁻¹ N nitrogenada em cobertura

COM GESSO

Sem cobertura 180 kg ha⁻¹ N nitrogenada em cobertura





Relações entre o teor de N-NO₃- no solo, nas profundidades de 30–40 cm e 40–50 cm, e a quantidade de N absorvida pela parte aérea do milho. ** P < 0.01.

FONTE: Zardo Filho (2011) – Dissertação de Mestrado

Uso de Gesso em Sistema Plantio Direto

O gesso agrícola ocasiona melhoria nas condições químicas do perfil do solo e aumenta a eficiência do uso de nitrogênio.

O gesso pode ser empregado em solos com deficiência de Ca e/ou com teores tóxicos de Al em camadas do subsolo, e também em solos com deficiência de S-SO₄ e/ou com estreita relação Ca/Mg nas camadas superficiais.

A aplicação de gesso deve ser realizada, preferencialmente, após a correção da acidez do solo com calcário contendo alto teor de MgO.

Definição da Dose de Gesso Agrícola

Camada diagnóstica: 20-40 cm

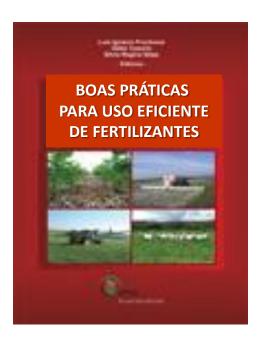
Ca ≤ 0,4 cmol_c/dm³
Saturação por Ca (CTCe) < 60%
Al ≥ 0,5 cmol_c/dm³
Saturação por Al (m) ≥ 20%

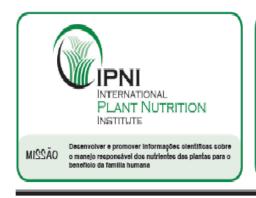
Teor de Argila

 $NG (kg/ha) = 5 \times Argila (g/kg)$

Saturação por Bases

 $NG (t/ha) = (50 - V\%) \times CTC/50$







CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Eduardo Fávero Caires

Capitulo
10

Eduardo Fávero Caires

MANEJO DA ACIDEZ DO SOLO

MENSAGEM

O plantio direto é o sistema que mais preserva o solo para as gerações futuras e a sua adoção deverá ser ampliada na América do Sul.

A correção do perfil do solo para o adequado crescimento do sistema radicular é de primordial importância para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e a produção agrícola.

MUITO OBRIGADO



Laboratório de Fertilidade do Solo

Eduardo Fávero Caires

Tel. (42) 3220-3091

E-mail: efcaires@uepg.br