



VIII SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

MACRONUTRIENTES SECUNDÁRIOS: ESTAMOS DANDO A DEVIDA ATENÇÃO?

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

Eng. Agr. Gerson Marquesi Netto (Safena)

Ac. Geovânia Morais de Rezende (D-trã)

Piracicaba – SP
12 de julho de 2017



Legislação brasileira

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 22 DE NOVEMBRO DE
2016. Art. 4º - II

Os teores dos macronutrientes secundários dos fertilizantes previstos devem ser expressos como segue:

II - Macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S);



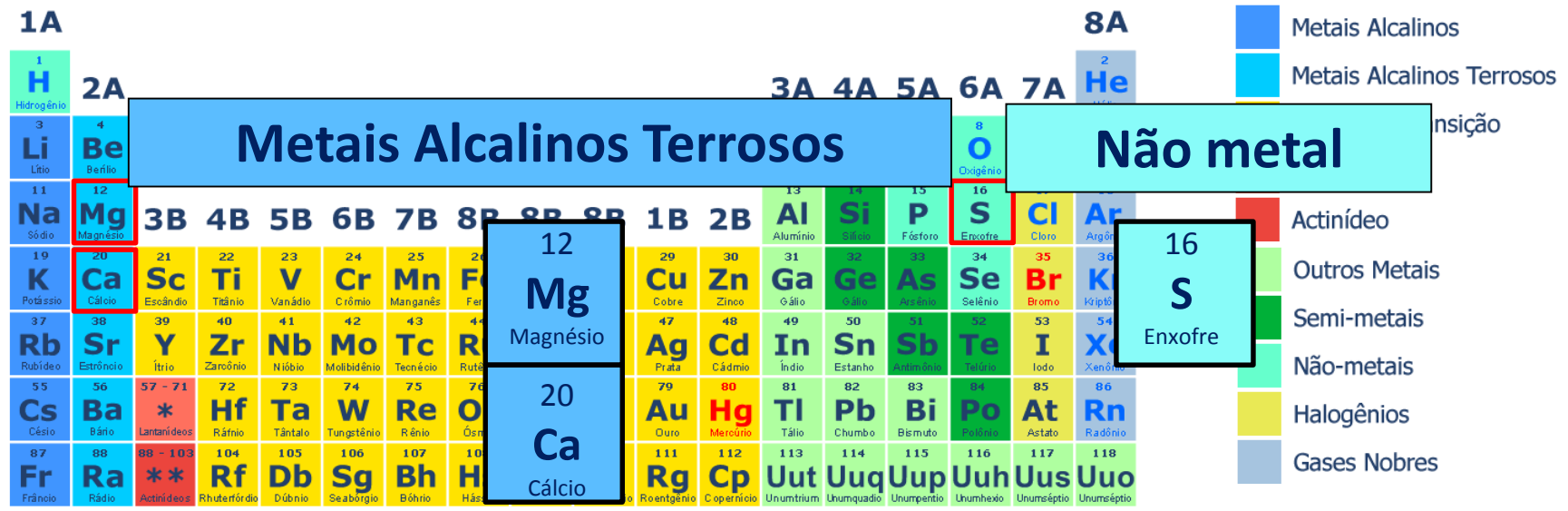
*** Enxofre: S e SO₃**

1 S = 2,5 SO₃

CaO = 1,4 x Ca

MgO = 1,658 x Mg

Tabela periódica



Série dos Lantanídeos

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Lantânio	Cério	Praseodímio	Neodímio	Promécio	Samário	Európio	Gadolínio	Térbio	Disprósio	Holmio	Érbio	Túlio	Íterbio	Lutécio

Série dos Actinídeos

87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúlio	Plutónio	Americio	Cúrio	Berquélio	Califórnia	Einsteinio	Férmio	Mendelévio	Nobélio	Laurêncio

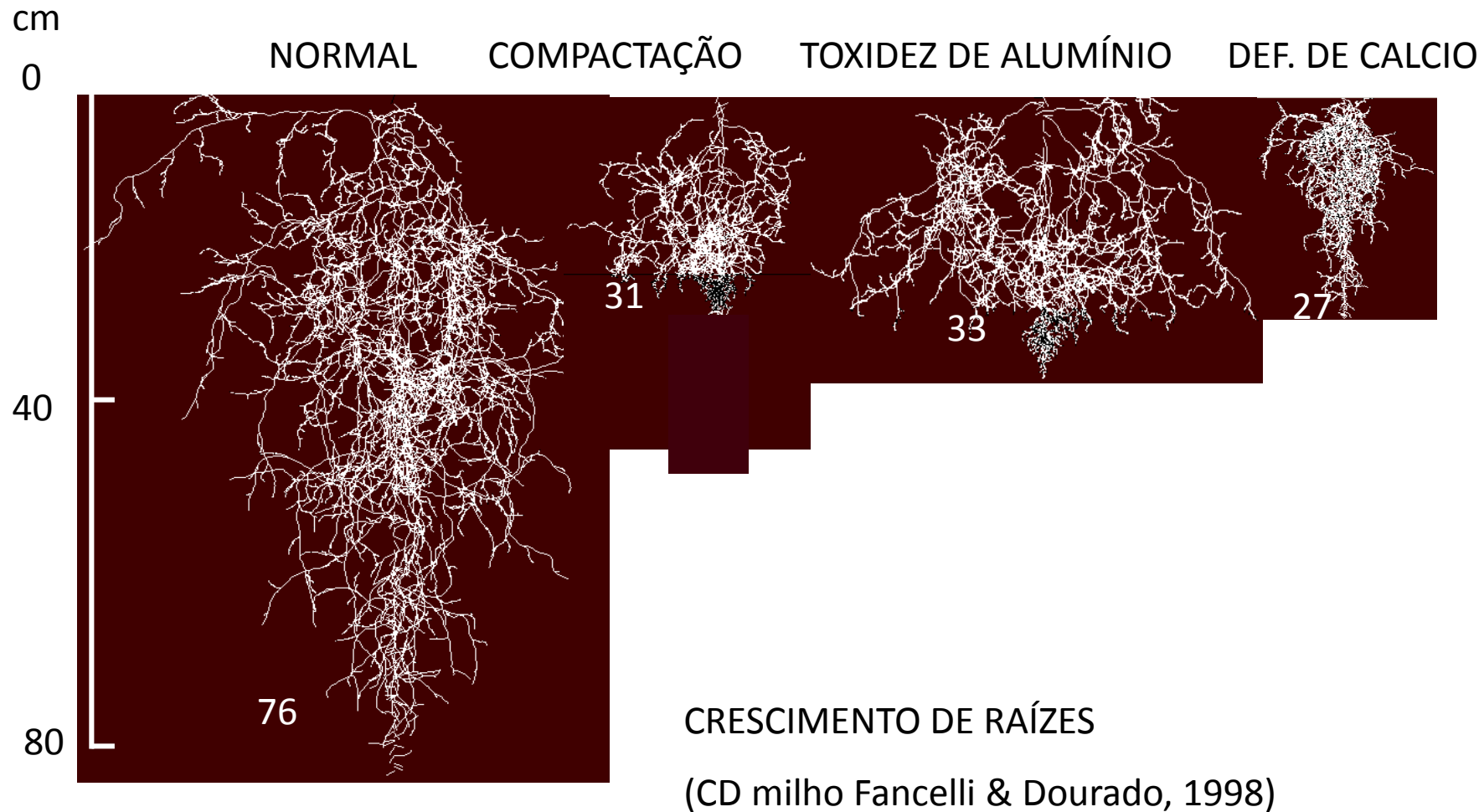
- Fe** Elementos Sólidos nas CNTP
- Hg** Elementos Líquidos nas CNTP
- Kr** Elementos Gasosos nas CNTP

Funções:

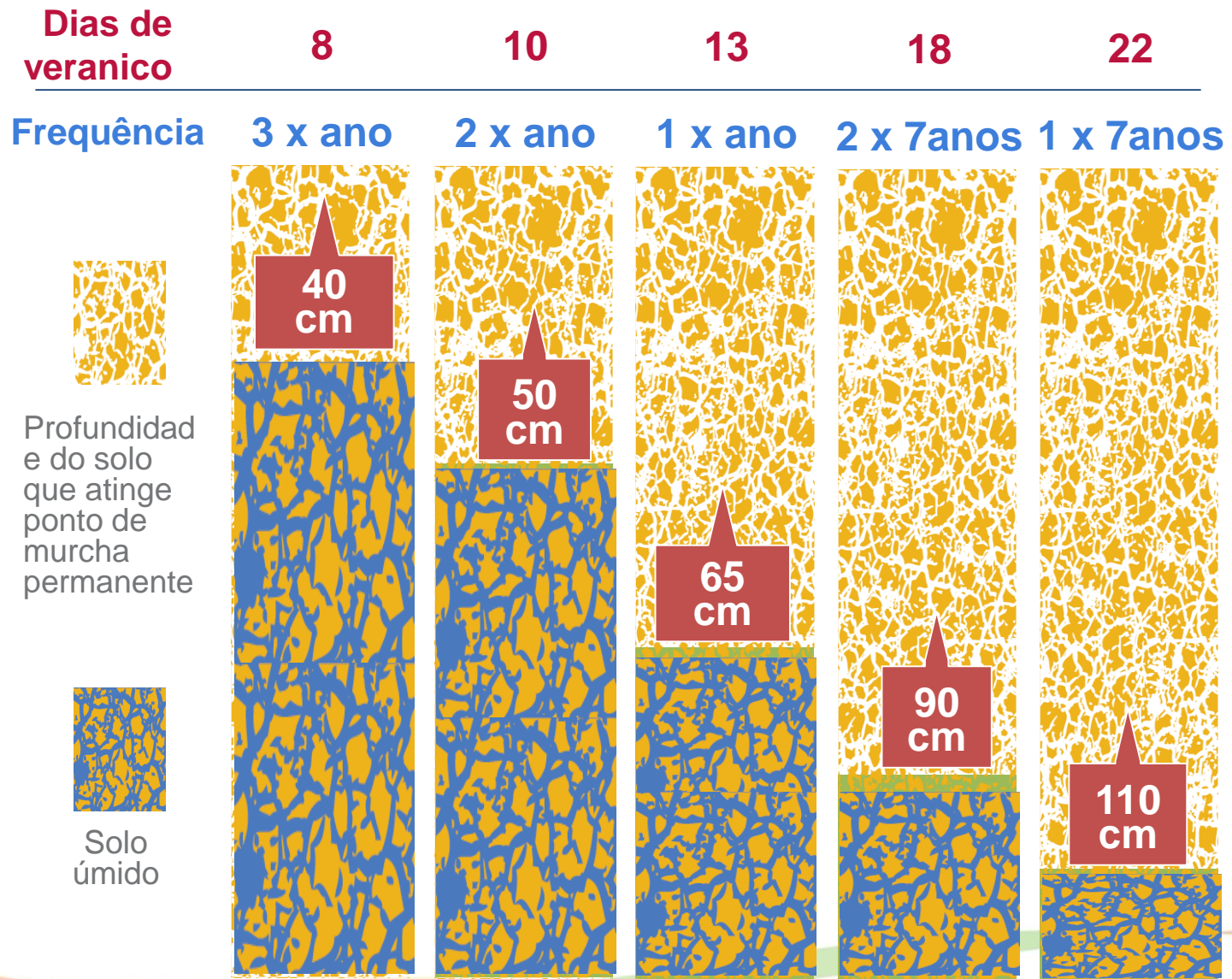


- **Constituinte da parede celular**
- **Rigidez da membrana**
- **Crescimento das raízes**
- **Diminuição da toxidez de outros íons**
- **Neutralização de alguns ácidos orgânicos**
- **Estimula a ação do ADP**
- **Germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico**
- **Interação positiva com o B**

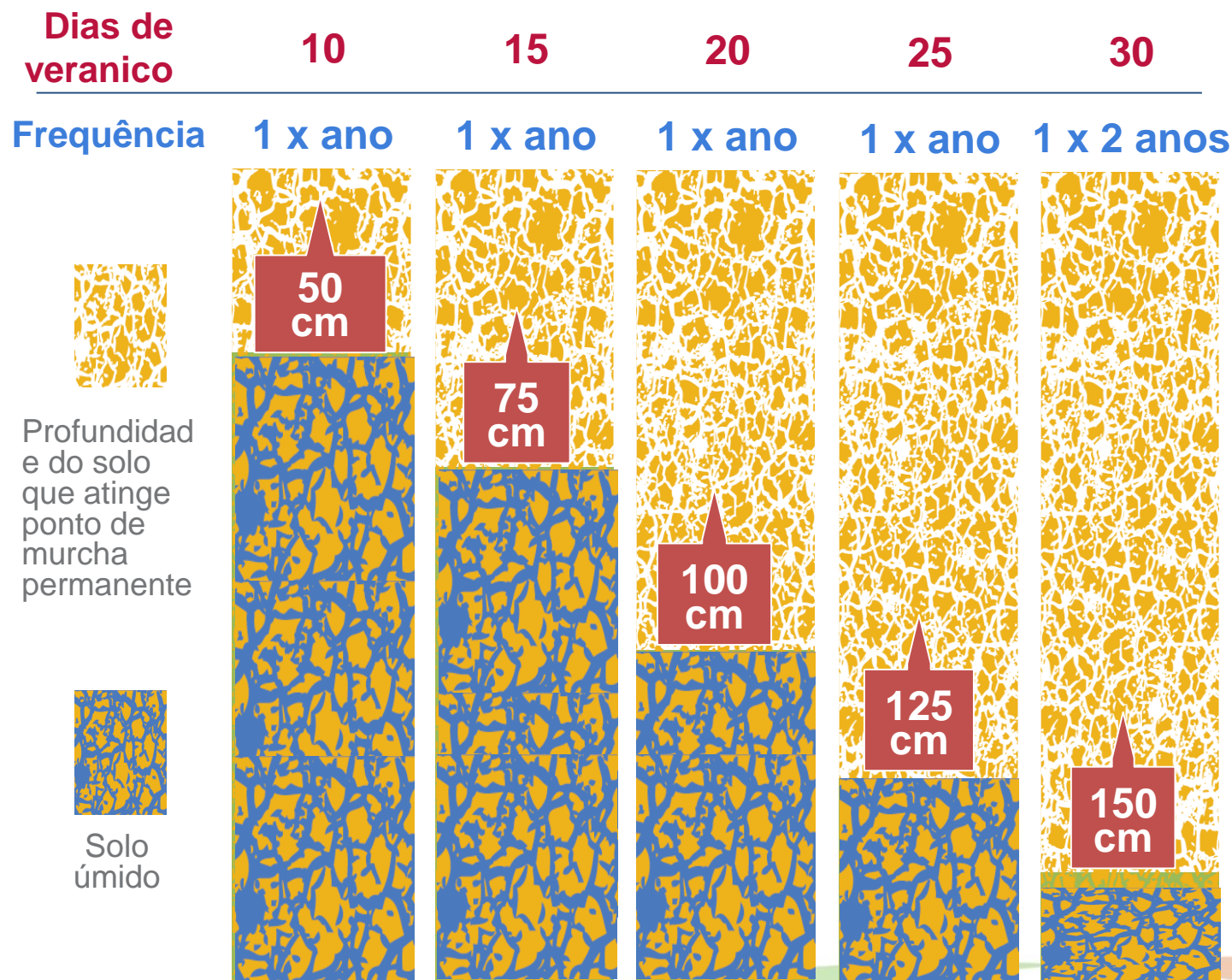
Enraizamento



Probabilidade de ocorrência de veranicos



Probabilidade de ocorrência de veranicos





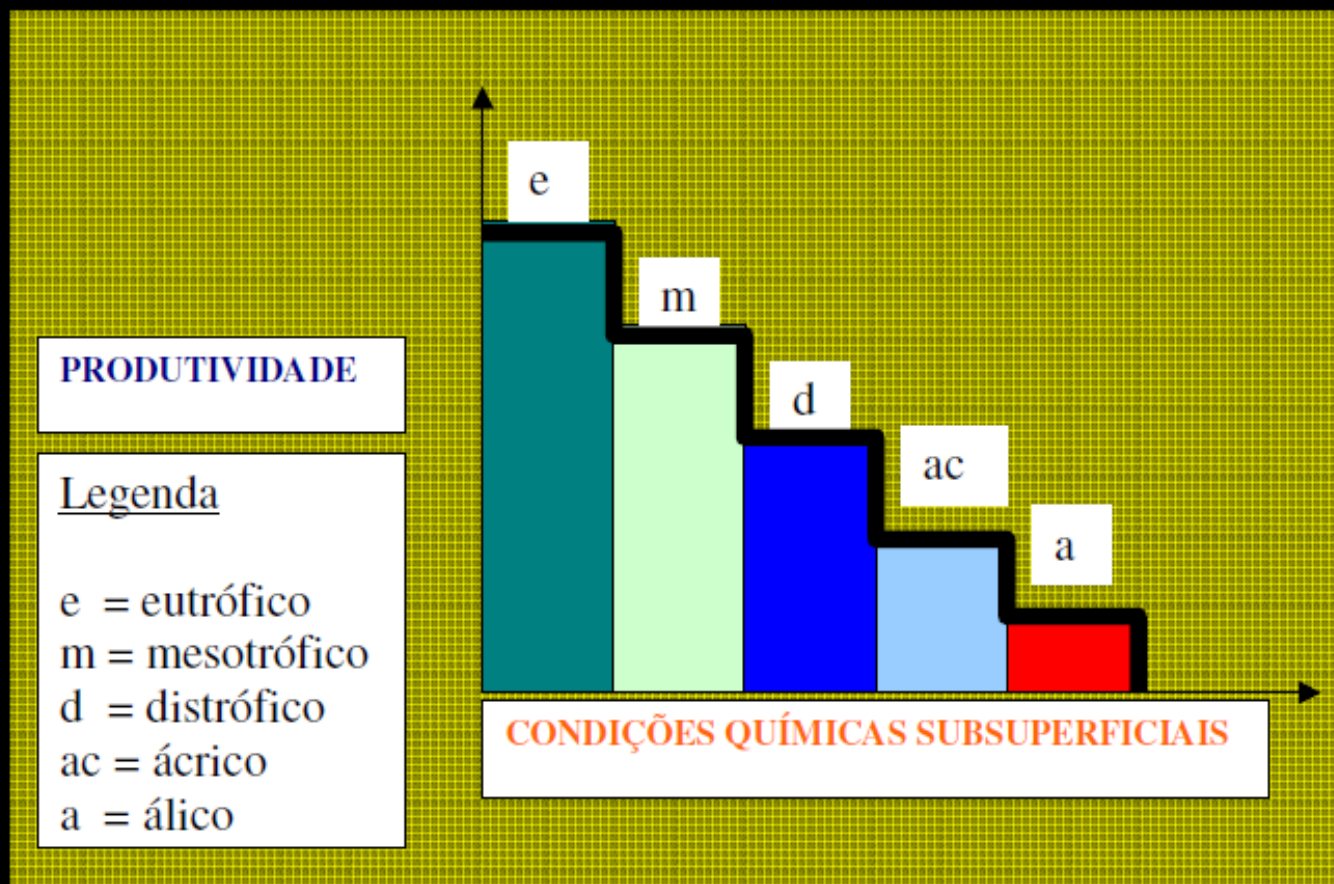
Solo	V	SB	m	Al ³⁺	RC
Eutrófico	≥ 50	$\geq 1,5$			
<i>Mesotrófico</i>	<i>30-50</i>	$\geq 1,2$			
<i>Mesotrófico</i>	> 50	$< 1,5$			
<i>Distrófico</i>	< 30		< 50		$> 1,5$
Ácrico					$\leq 1,5$
<i>Mesoálico</i>			<i>15-50</i>	$\geq 0,4$	
Álico			> 50	0,3-4,0	
Alumínico			≥ 50	$> 4,0$	

¹ V = saturação por bases (%); SB = soma de bases (cmol_c kg⁻¹ de solo); m = saturação por alumínio (%); RC = retenção de cátions (cmol_c kg⁻¹ de argila).

$$RC = (SB+Al) \times 100 / \text{Argila}$$



INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES QUÍMICAS SUBSUPERFICIAIS NA PRODUTIVIDADE



Toxicidade de Al em raízes de Cana-de açúcar

Se formam poucas raízes laterais e as que se formam, se apresentam anormalmente engrossadas; danos nas raízes que se parecem com os danos causados por nematóides;

Plantas se tornam altamente susceptíveis a estresse hídrico e deficiência de P



Funções:

- **Constituinte da molécula de clorofila**
- **Ativador de enzimas relacionadas com o metabolismo de gorduras e carboidratos**
- **Absorção e metabolismo de fósforo**



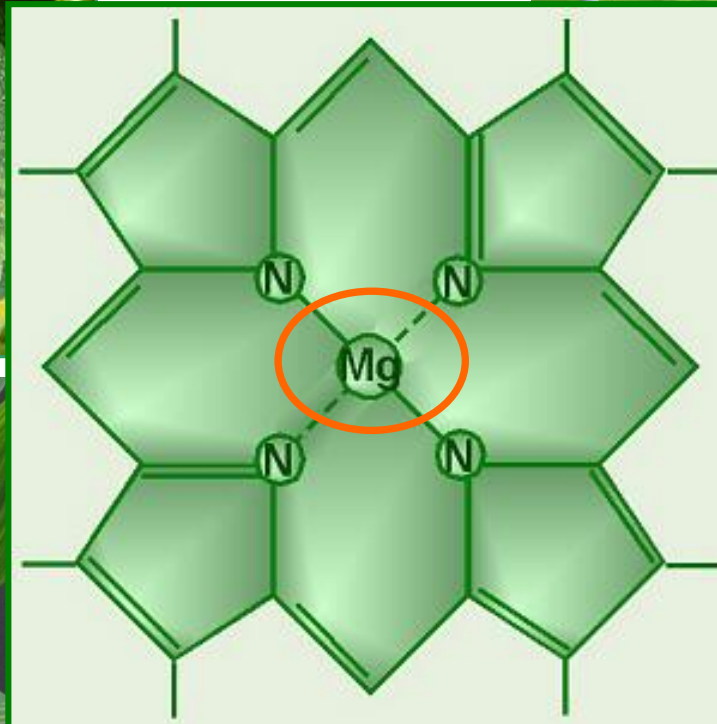
Magnésio na planta



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



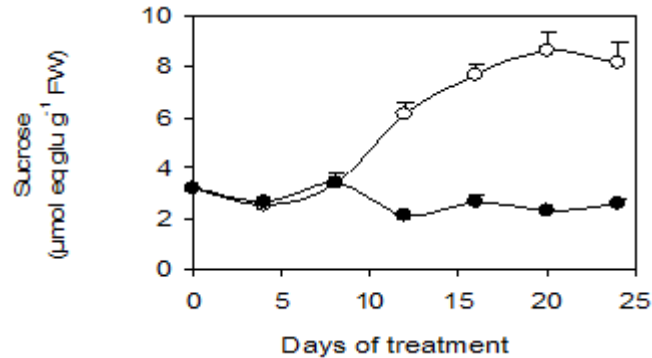
**Magnésio é o íon central da clorofila.
Sua deficiência causa clorose.**



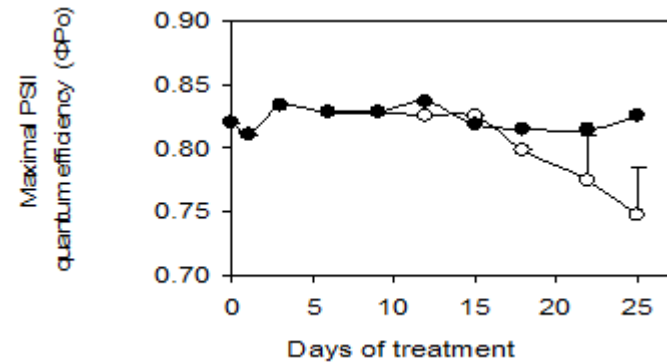
Sacarose, clorofila, máxima eficiência luminosa e taxa de transporte de elétrons do PSII de beterraba açucareira com deficiência e adequado fornecimento de Mg.

Hermans et al., 2004 Planta

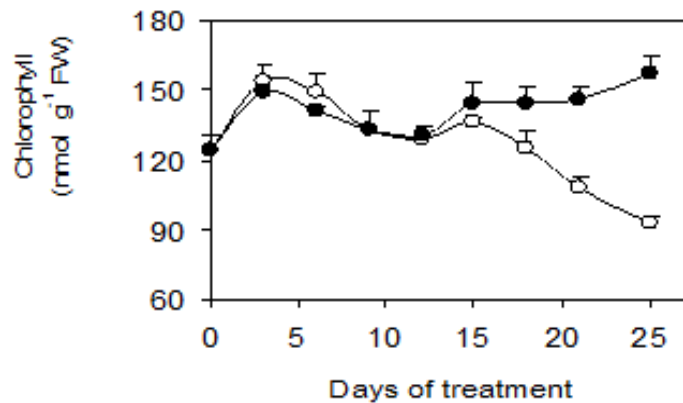
Sacarose foliar



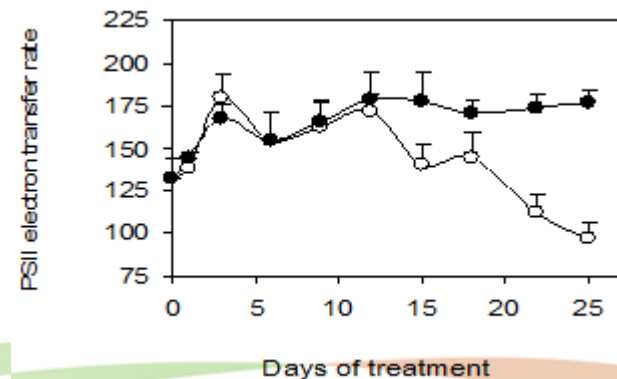
Máxima eficiência luminosa



Clorofila



Transporte de elétrons do PSII



Interação K x Mg x Ca

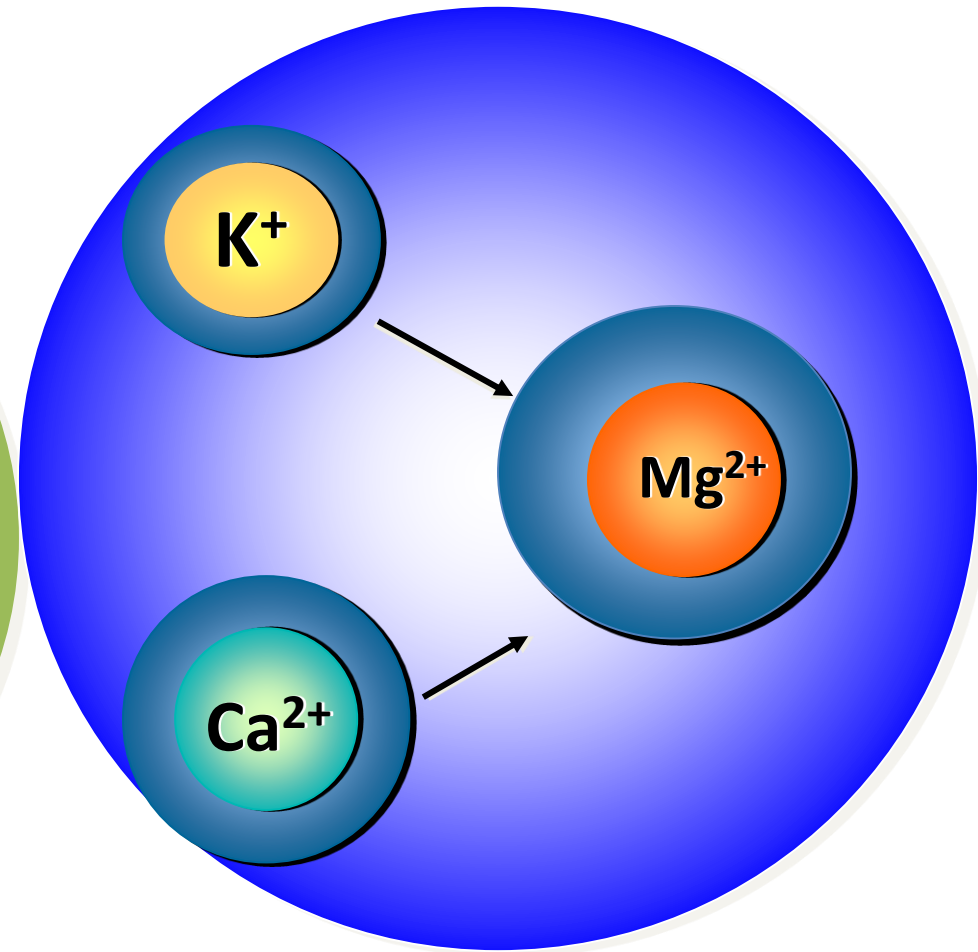


VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR

GAPE

Efeito	Fluxo CH ₂ O mg g ⁻¹ MS 8 h
Normal	3,4
Falta K	1,6
Falta Mg	0,7

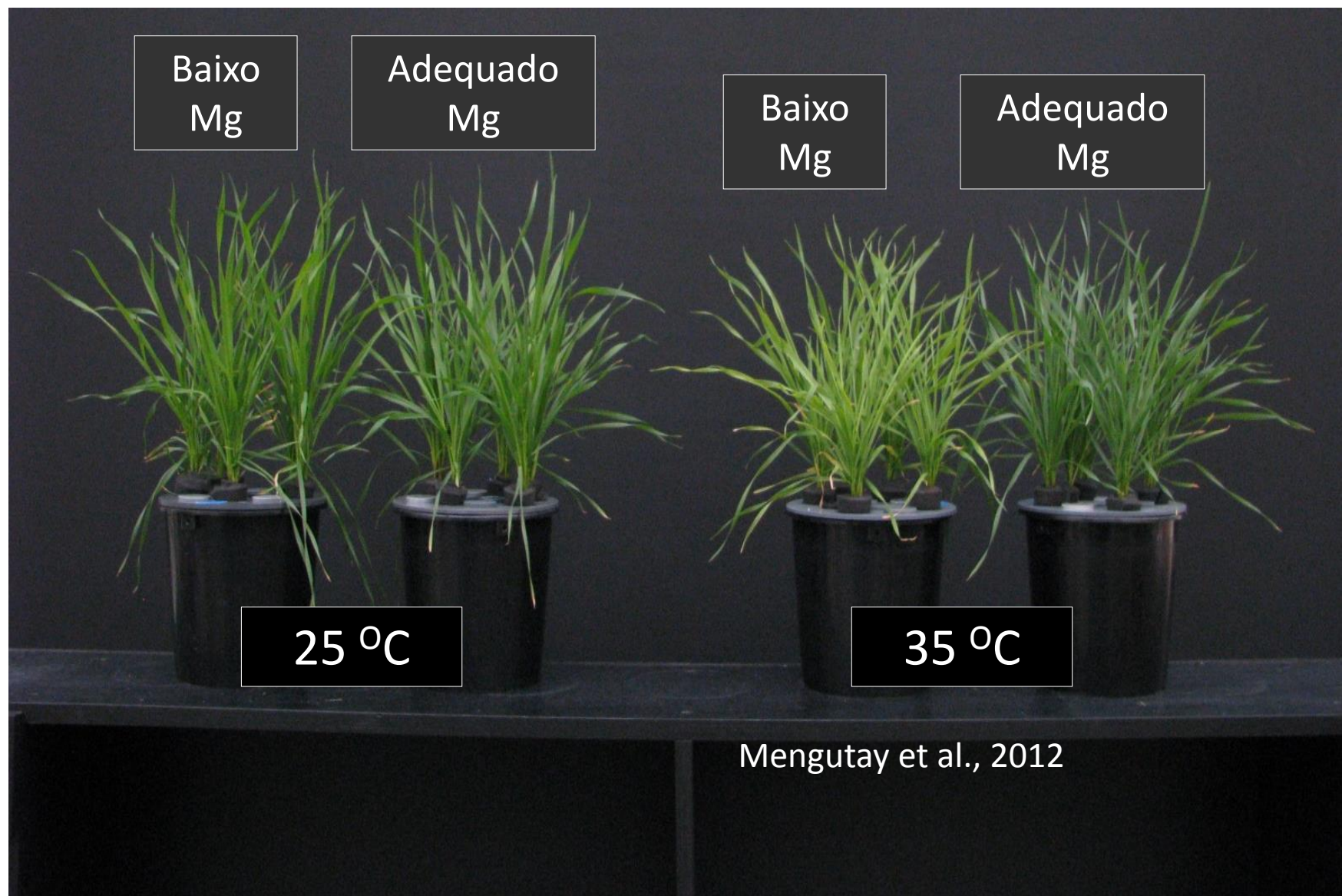
Cakmak et al. (1994)



Plantas sob o suprimento de Mg baixo são altamente susceptíveis ao estresse térmico

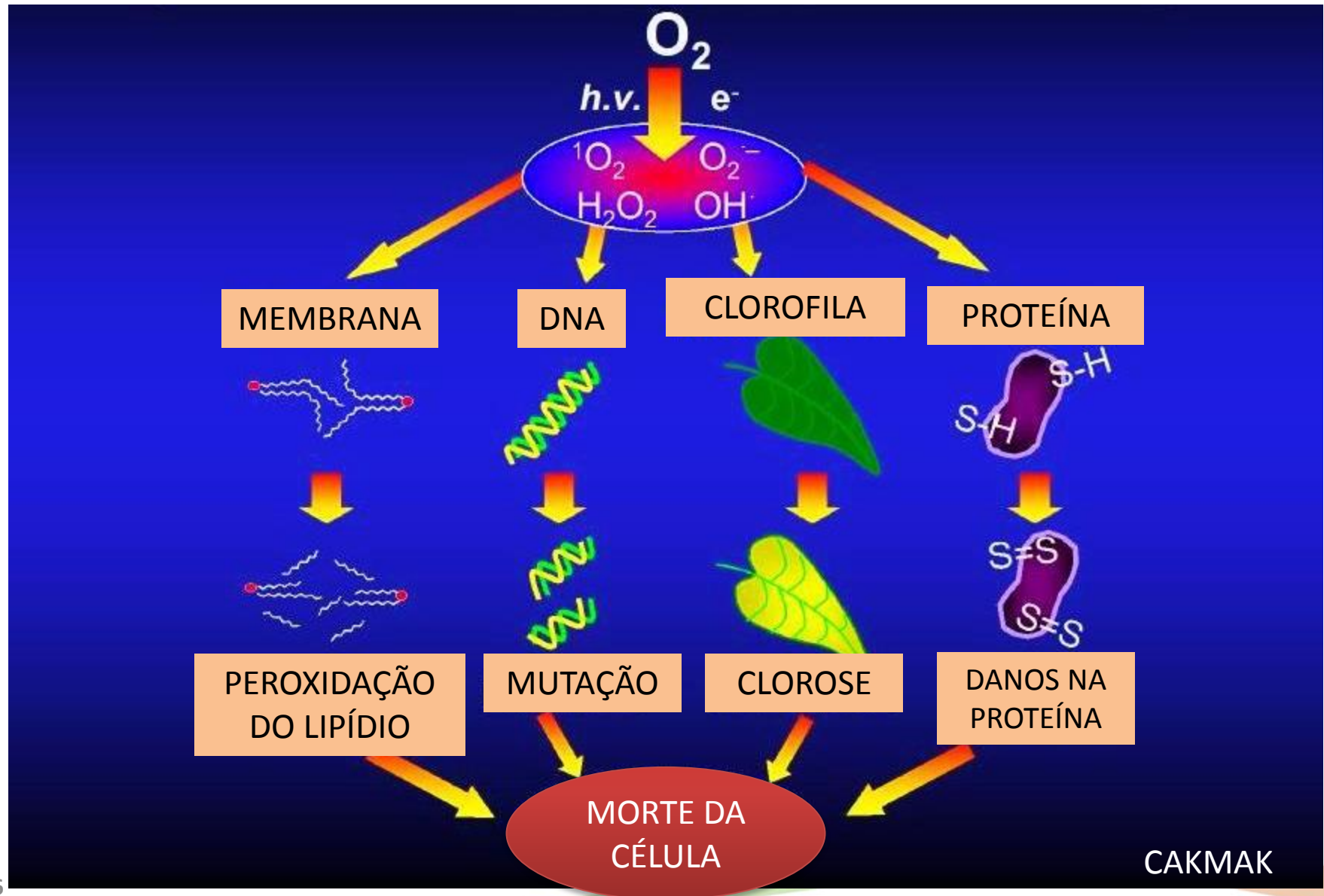


VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR

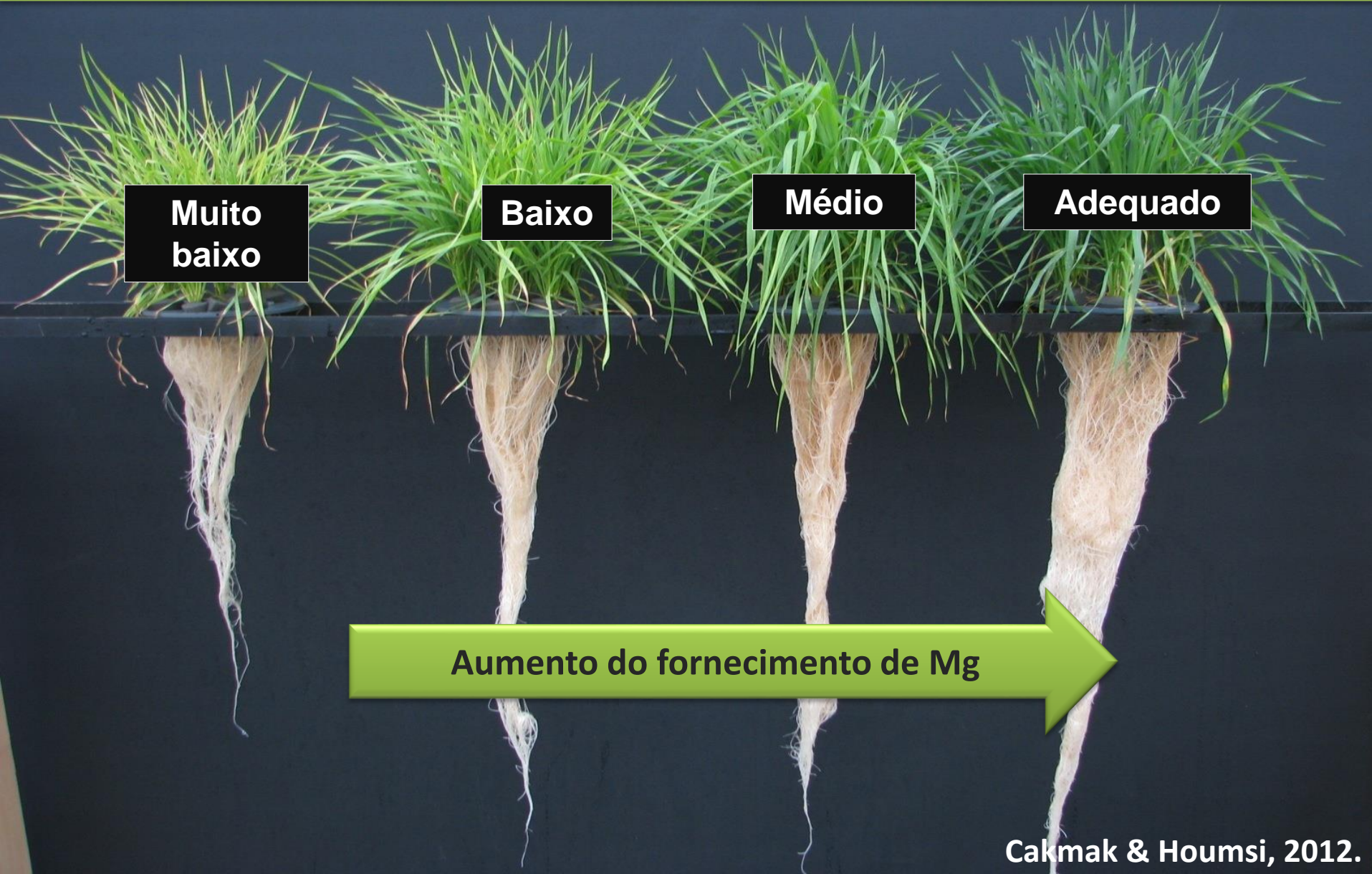


Mengutay et al., 2012

Danos dos radicais livres aos constituintes críticos das células



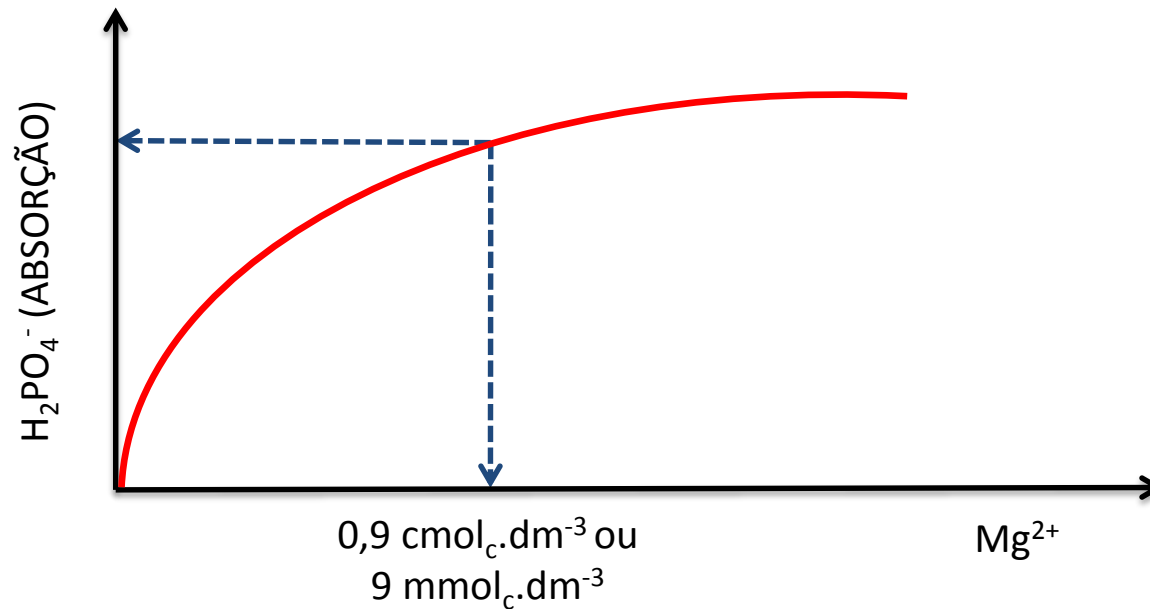
Efeito no aumento do fornecimento de Mg em parte aérea e raiz no crescimento do trigo



Efeito do Mg na absorção de P



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



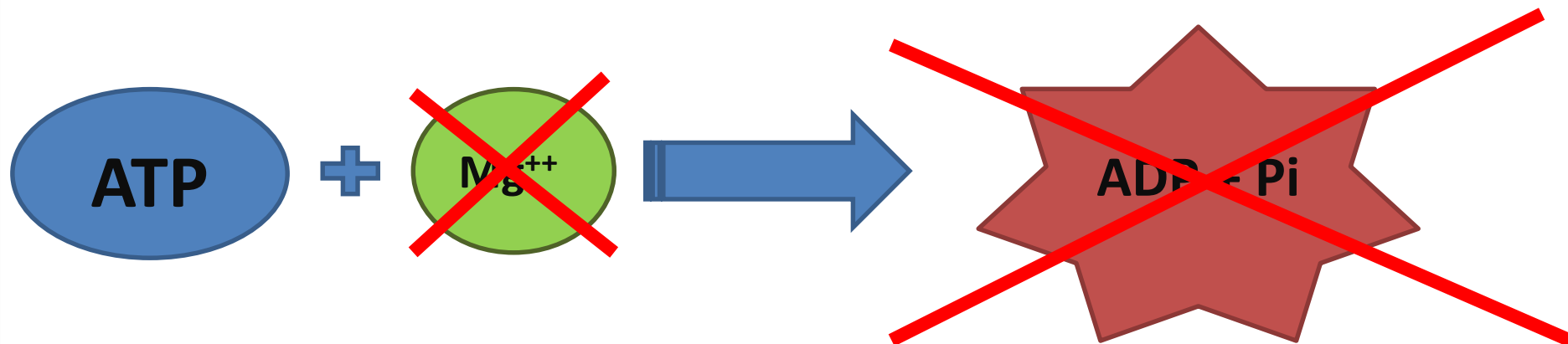
Vitti, 2013.

Mg = Carregador de P

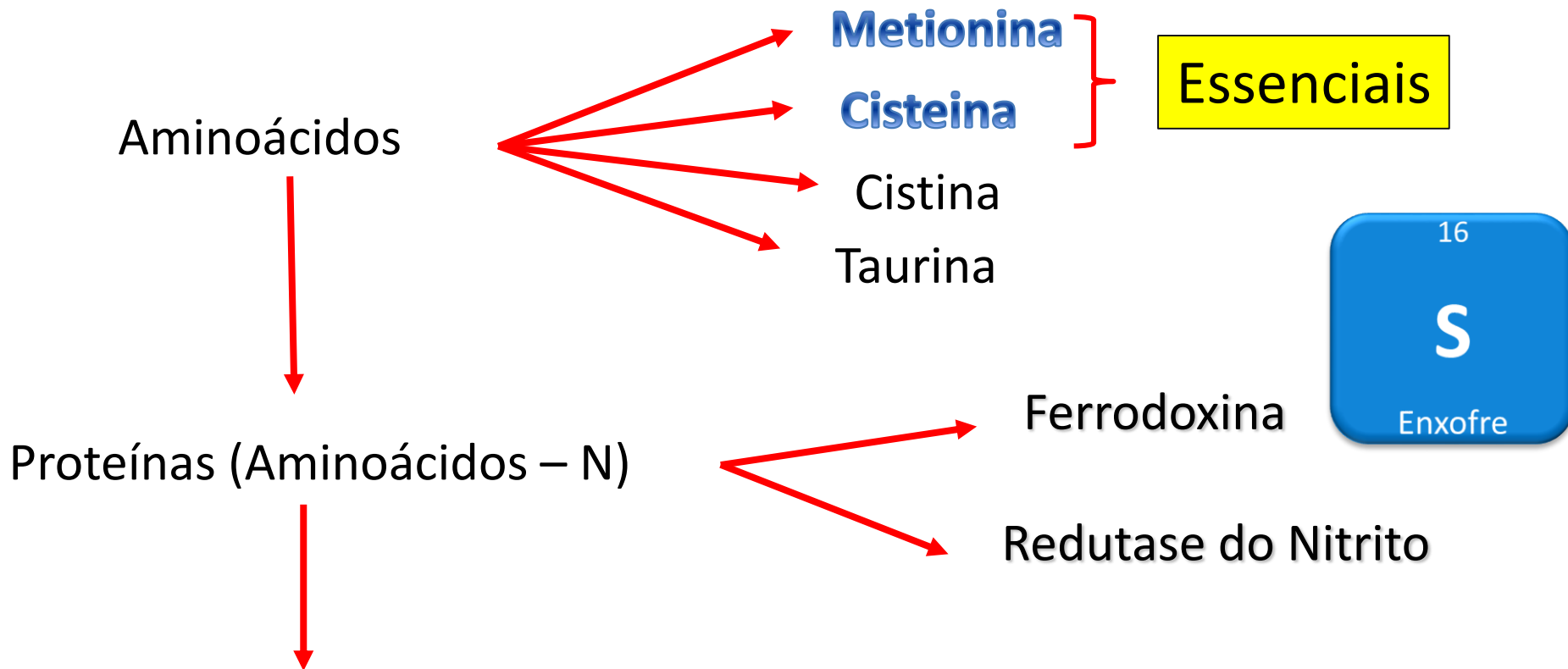
Dose de Mg (ppm)	P absorvido (ppm)
0,0	70
2,0	120
5,0	150

Fonte: Malavolta & Ponchio (1987)

Transformação do ATP em energia ativa



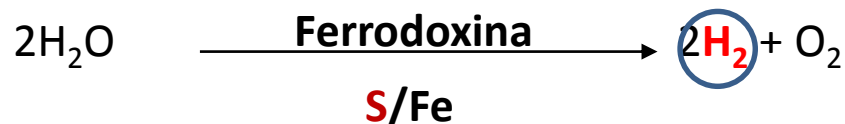
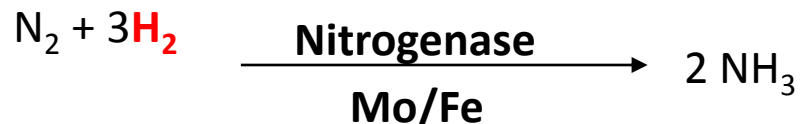
O nitrogênio e o enxofre trabalham juntos no metabolismo das plantas.



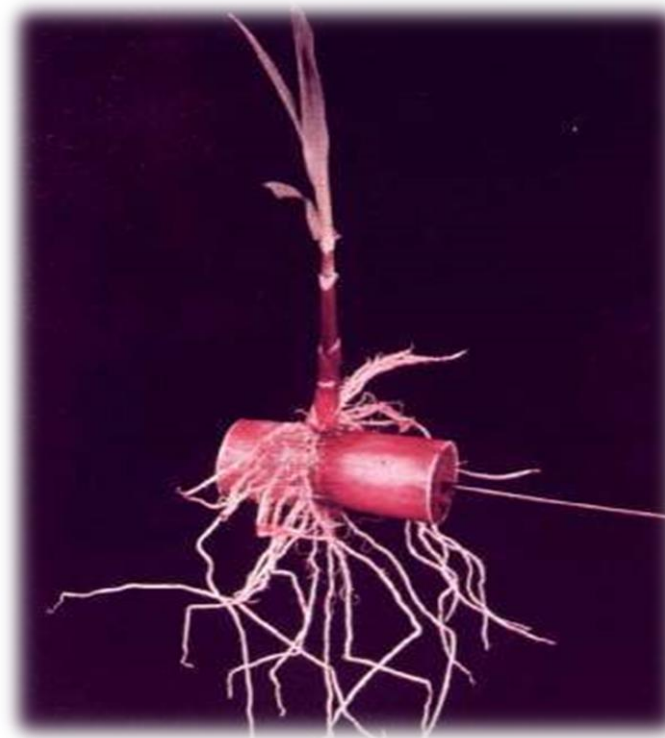
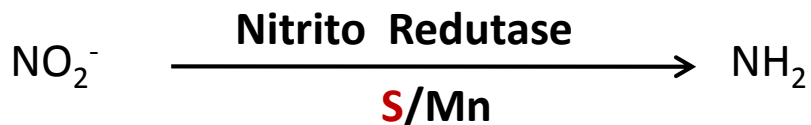
N/S = 12 a 15/1 (vegetal)

A principal função do enxofre é ser constituinte de proteínas

Fixação de N₂



Metabolismo do N



Vitti & Malavolta, 1982

Grupos Sulfidrilos (-SH) e Dissulfeto (-S-S) aumentam a resistência ao frio e à seca



- FAO/FIAC(1992):
 - 60 kg ha⁻¹ S, para cada 100 t ha⁻¹ de toletes

De 30 a 60 kg ha⁻¹ de S para repor o enxofre extraído pela lavoura

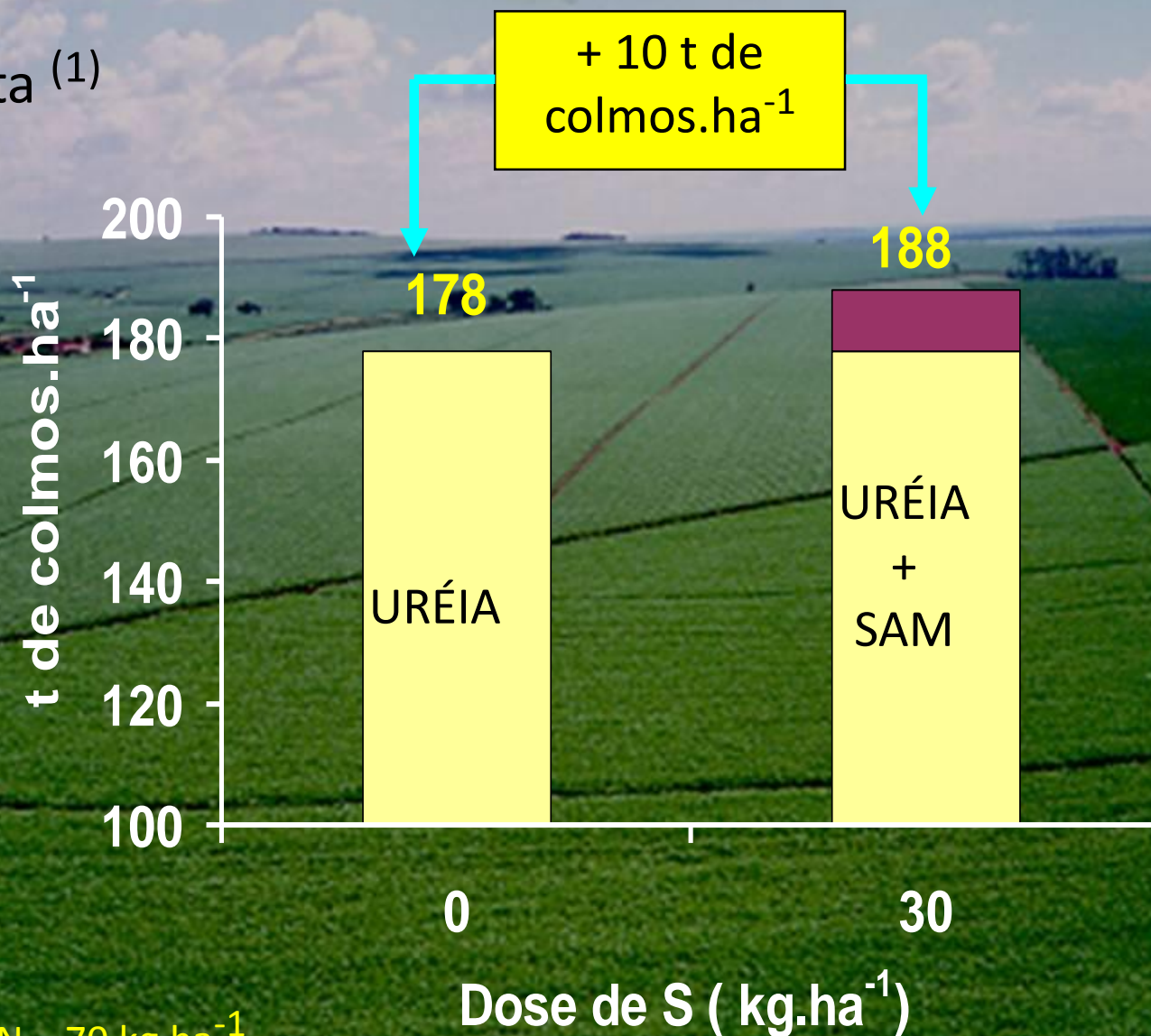
Vitti, G.C. (2007)

Em solos deficientes em S, há incrementos no rendimento de 20 a 30% com a aplicação de enxofre

Resposta da cana-de-açúcar ao S



Cana Planta (1)

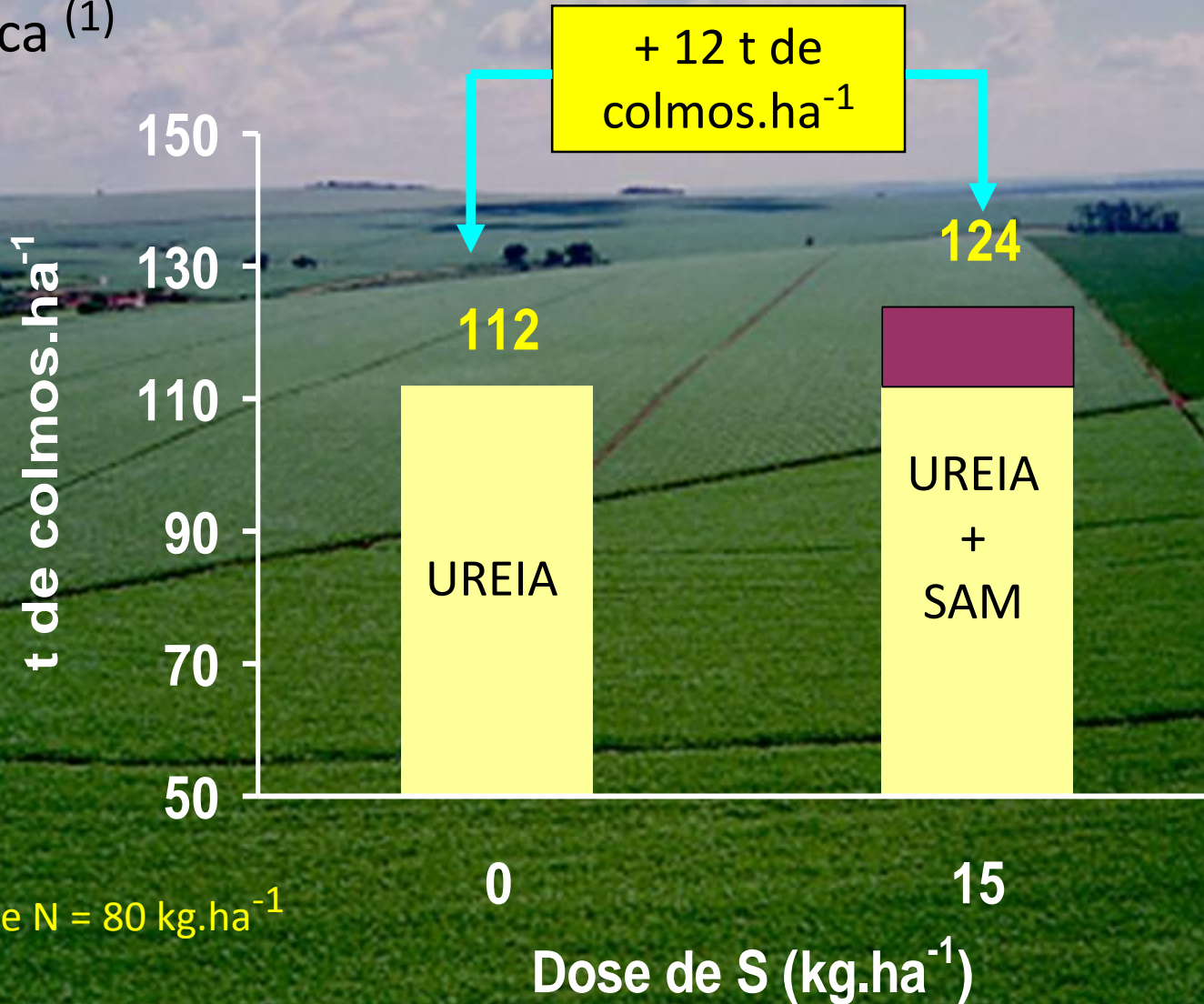


(1) Doses de N = 70 kg.ha⁻¹

Resposta da cana-de-açúcar ao S



Cana Soca (1)



(1) Dose de N = 80 kg.ha⁻¹

Exigências nutricionais



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Produção de 100 t de colmos						
	N	P	K	Ca	Mg	S
	————— kg —————					
Colmos	83	11	78	47	33	28
Folhas	60	8	96	40	16	18
Total	143	19	174	87	49	44

Fonte: Orlando F^o (1993)

EXTRAÇÃO: K > N > **Ca** > **Mg** > **S** > P

EXPORTAÇÃO: N > K > **Ca** > **Mg** > **S** > P

Extração e exportação de CaO, MgO e S pela cana-de-açúcar



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Autor	Extração de nutrientes (kg/100 t)			Balanço CaO:MgO
	CaO	MgO	S	
Orlando Filho et al. (1980)	83	56	28	1,48
Orlando Filho (1993)	87	49	44	1,77
Franco (2008)	84	43	28	1,95
Oliveira (2011)	91	54	33	1,68
Média	86	50	33	1,72

Autor	Exportação de nutrientes (kg/100 t)			Balanço CaO:MgO
	CaO	MgO	S	
Orlando Filho (1993)	47	33	26	1,42
Franco (2008)	29	20	15	1,45
Oliveira (2011)	30	32	24	0,94
Média	35	28	22	1,27

Balanço CaO:MgO

Exportação cana-de-açúcar

1,27



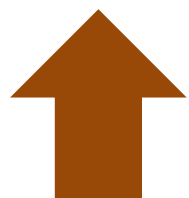
Balanço CaO:MgO

Calcário

1,7 a 3,0

Considerações:

- Cálculo calagem: V% e Ca + Mg
- Uso contínuo de calcário e gesso:



Ca solo

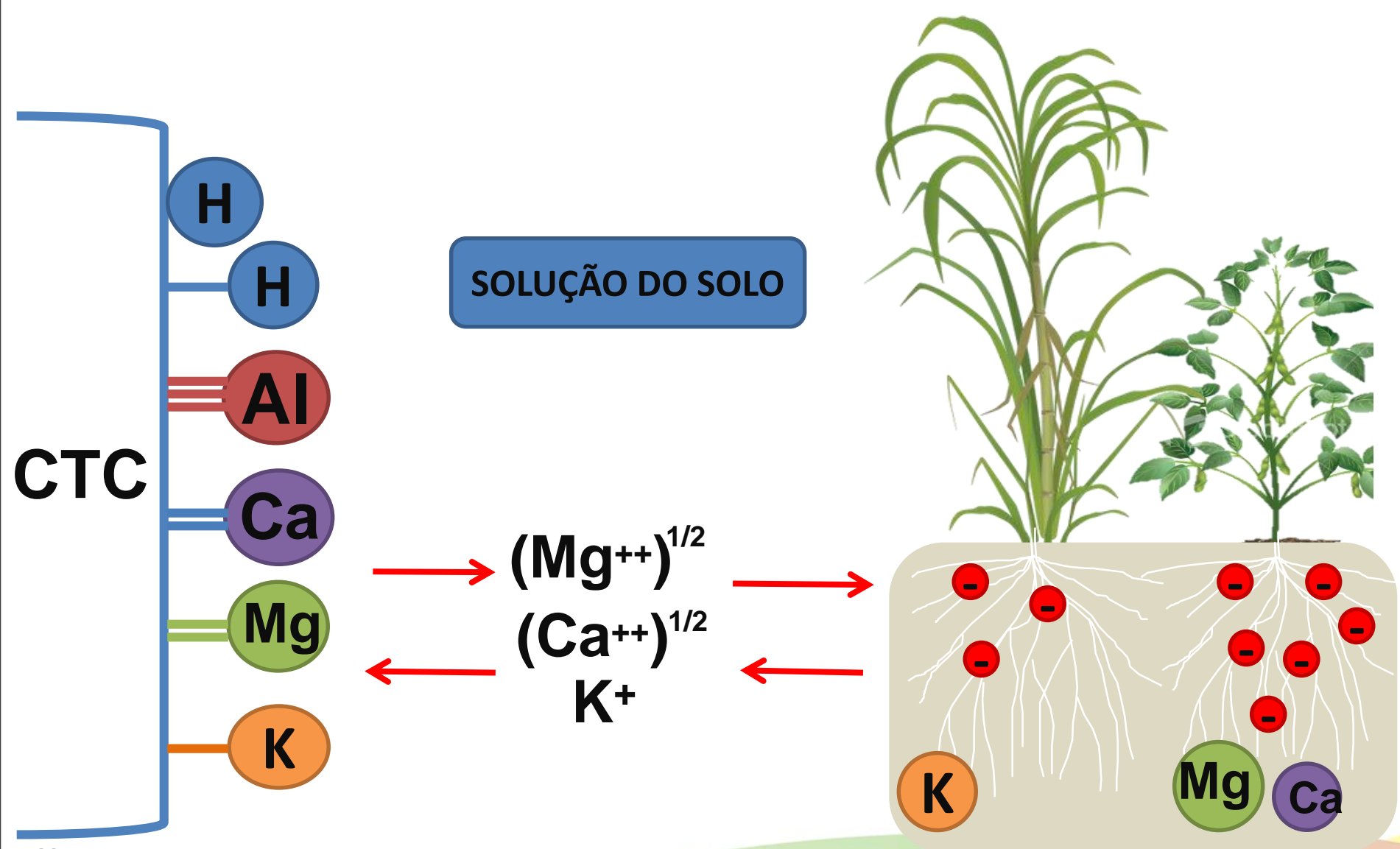


Necessidade de
calagem



Mg solo

Comportamento do Mg no solo



SOLUÇÃO DO SOLO

$T = f(\text{M.O.} + \text{ARGILA})$

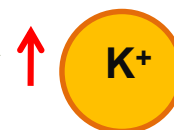
$\text{CTC}_{\text{efetiva}} = f(\text{pH})$

Nutriente	% T
Ca	40 a 45
Mg	10 a 15
	leguminosas - gramíneas
K	3 a 5

Mg^{++}

GRAMÍNEAS

< CTC raiz



LEGUMINOSAS

> CTC_{raiz}



Dispersão



Agregação

Agregação crescente

K	Mg	Ca	Ca/Mg
1	3	9	3/1
a			
1	5	25	5/1

Ca e Mg na CTC do solo



Porcentagem de saturação de K, Mg e Ca em relação ao valor T do solo, na faixa de V% mais adequada para as plantas (VITTI et al., 2000).

V%	K%T	Mg%T	Ca%T
40	3	9	28
50	4	11	35
60	3-5	15	40
70	3-5	15	50

Equivalência de unidades



$\text{meq.}100\text{cm}^{-3}$ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	mg dm^{-3} (ppm)	Elemento (kg ha^{-1})	Óxidos (kg ha^{-1})	Carbonatos (kg ha^{-1})
1 Ca	10	200	400	560 ¹	1000 ²
1Mg	10	120	240	400 ¹	840 ²
1 K	10	300	800	960 ¹	-
1 Al	10	90	180	-	-
1 P	-	100	200	460 ¹	-

1 = CaO, MgO, K₂O e P₂O₅, respectivamente

2 = CaCO₃ e MgCO₃, respectivamente

1,0 t/ha CaCO₃ (PRNT = 100%) → 10 mmolc.dm⁻³ Ca = 1 cmolc.dm⁻³ Ca

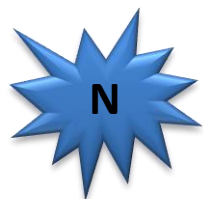
1 ha = 2.000.000 dm³ (0-20cm) densidade = 1



Nos solos tropicais, as quantidades de S no perfil explorado pelas raízes das plantas, são freqüentemente baixas, quando comparados aos das regiões temperadas.

Solos { **Ultisolos - Argilosos distróficos**
Oxisolos - Latossolos

Aumento considerável no uso de adubos simples e de fórmulas de adubação carentes (isentas) em S.



→ 58% Uréia: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
19% Fosfatos de Amônio (MAP, DAP)
 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ / $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$



→ 37% SPT: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$
35% Fosfatos de Amônio (MAP e DAP)



→ 97% Cloreto de Potássio (KCl)

Práticas culturais

- ◆ **Calagem** - aumento de CTC - aumenta lixiviação do SO_4^{2-}
- ◆ **Adubação fosfatada** - aumenta a desorção e lixiviação do SO_4^{2-}



Quantidade de sulfato adsorvido no horizonte Ap e B2 de um latossolo e dessorção do mesmo



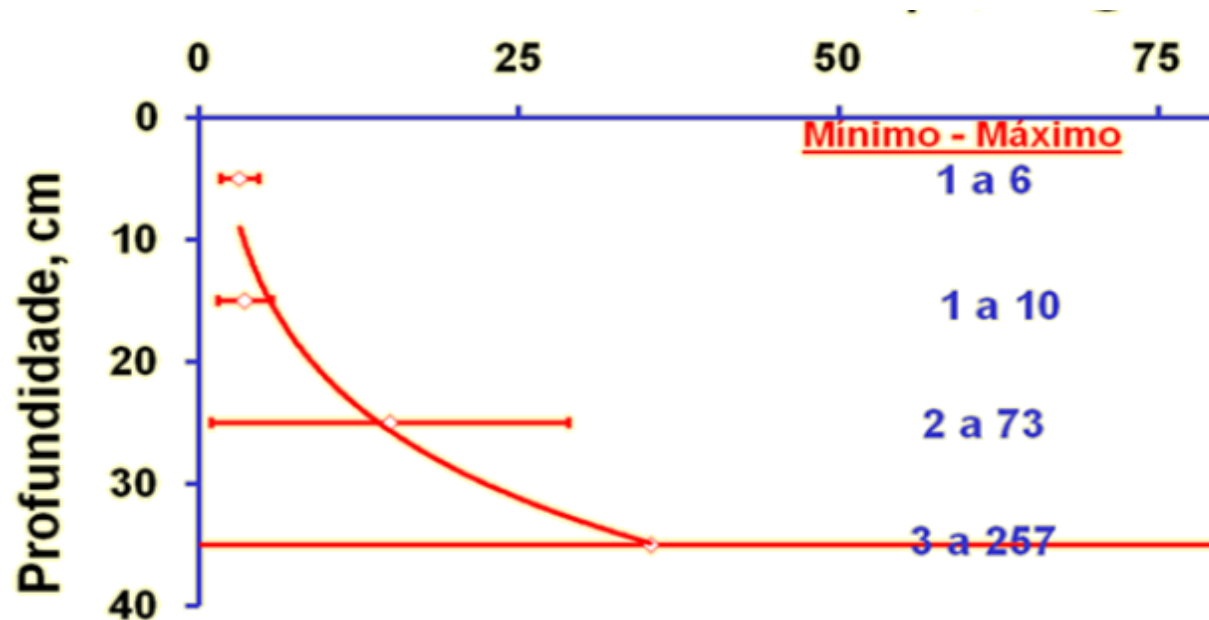
Horizonte	S-SO ₄ Adsorvido	Quantidade Dessorvido	% Dessorvido
Ap	114	107	97
B2	179	82	46

Adaptado de Kamprat e Till, 1983.

Efeito do fosfato na adsorção do sulfato



Teor de S (mg dm^{-3})



Fonte: Cantarella e Duarte (Média de 36 locais)

Devido a sua forma química, o enxofre tende a descer no perfil do solo, se acumulando nas camadas inferiores do solo, o que pode gerar uma deficiência acentuada no ciclo das culturas ou em culturas de menor perfil radicular.

Interpretação do S contido no solo



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Classes	S (mg dm ⁻³)	
	NH ₄ OAc.HOAc.	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ - 500 ppm P
Muito baixo	0,0 - 5,0	0,0 - 2,5
Baixo	5,1 - 10,0	2,5 - 5,0
Médio	10,1 - 15,0	5,1 - 10,0
Adequado	> 15,0	> 10,0

Vitti, 1989.

Note: 8500 amostras → 75% teores baixo e muito baixo

$$1 \text{ mg dm}^{-3} \text{ S} = 2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ S}$$



Matéria Orgânica do Solo

- Mínimo de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de S na Matéria Orgânica
- Relação C:S < 200 → Liberação de S
- Relação C:S > 200 → Imobilização de S
- Somente 2 a 4% do S-orgânico é mineralizado por ano

FAO / FIAC (1992)

As relações C:N e C:S afetam a taxa de mineralização e Imobilização da matéria orgânica do solo e assim afetam a disponibilidade de N e S as plantas.

Alta relação C/S da palha de cana crua



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Massa seca da palha de cana crua, quantidade de nutrientes e carboidratos estruturais em amostras realizadas em 1996 e na palha remanescente em 1997 (OLIVEIRA et al., 1999).

Ano	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	C
	t/ha	-----kg/ha-----						
1996	13,9 a	64 a	6,6 a	66 a	25 a	13 a	9 a	6.255 a
1997	10,8 b	53 a	6,6 a	10 b	14 b	8 b	8 a	3.642 b

Ano	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Conteúdo celular	C/N	C/S	C/P
	-----kg/ha-----						
1996	3.747 a	5.376 a	1.043 a	3.227 a	97 a	695	947
1997	943 b	6.619 a	1.053 a	2.961 b	68 b	455	552



- **Fontes de Ca e Mg:**
 - Calcários
 - Silicatos
- **Fontes de Ca e S:**
 - Gesso agrícola (Fosfogesso)
 - Gesso natural (Gipsita)
- **Fontes de S**
 - Sulfatos
 - S elementar



De acordo com a legislação brasileira, os corretivos de acidez do solo são classificados em:

- Calcário (tradicional, "filler", calcinado)
- Cal virgem agrícola
- Cal hidratada agrícola
- Carbonato de cálcio
- Escórias industriais (siderurgia e papel)

Garantia mínima para comercialização dos corretivos

(Capítulo II, Seção II – Dos corretivos de acidez – § 1 –
In DAS/ n. 35. 04/julho/06).

Materiais corretivos de acidez	PN (%Eq CaCO₃) Mínimo	Soma % CaO % MgO Mínimo	PRNT Mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Cal virgem agrícola	125	68	120
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Outros corretivos de acidez	67	38	45

Fontes corretivas de Ca e Mg



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Material neutralizante	Poder de neutralização ou equivalente ao CaCO_2 (%)
CaCO_3	100
MgCO_3	119
CaO	179
MgO	248
Ca(OH)_2	135
Mg(OH)_2	172
CaSiO_3	86
MgSiO_3	100

Produto: Silicato de Ca e Mg

Composição:

$\text{SiO}_2 = 17,4\%$

$\text{CaO} = 39,5\%$

$\text{MgO} = 9,6\%$

$\text{PN} = 94,4\%$

$\text{PRNT} = 90\%$



- Atributos do corretivo: PN, RE, PRNT, ER
- Atributos e manejo químico do solo
- Teor de magnésio do solo
- Porcentagem de Ca (Ca%T) e de Mg (Mg%T) do solo
- Relação Ca/Mg do solo
- Uso e quantidade de gesso



- Dose de aplicação
- Uniformidade na aplicação
- Antecedência de aplicação
- Profundidade de incorporação
- Localização do corretivo

Germinação do tolete em condições propícias a fixação biológica do N₂ do ar
(pH H₂O = 5,5 a 6,5)

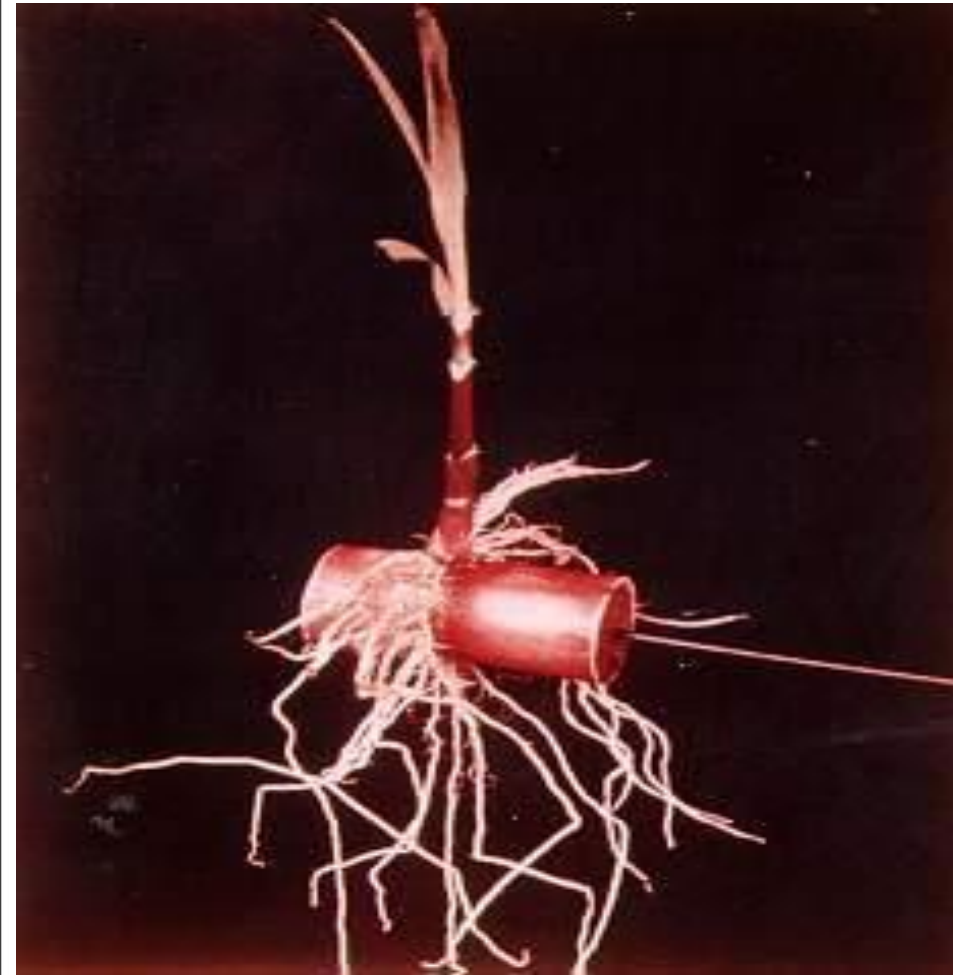
Glucoacetobacter diazotrophicus

Herbaspirillum seropedicae

Herbaspirillum rubrisubalbicans

Azospirillum amazonense

Burkholderia tropica



Aplicação de calcário e gesso em soqueira de solos de elevada CTC na Usina Passatempo em MS

Tratamentos			Soqueira			Acréscimo
Calcário	Gesso	P ₂ O ₅	3º corte	4º corte	5º corte	
_____ t ha ⁻¹ _____			_____ t ha ⁻¹ _____			
0	0	0	52	76	54	-
2	0	0	56	85	62	21
2	0	40	60	93	66	37
0	0	40	56	77	55	6
0	3	0	60	90	56	19
0	3	40	60	85	60	18

Instalação: Nov/91 (2 corte); 7/92 (3 corte); 10/93 (4 corte); 10/94 (5 corte)

CTC na faixa de 112 mmol_c.dm⁻³, teor de Ca + Mg na faixa de 32 mmol_c.dm⁻³ e V% de 29

- O tratamento calcário e fósforo diferenciou dos demais

Efeitos da calagem no aumento da produção



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



- Redução na absorção de Al, Mn e Fe
- Fornecimento de Ca e Mg
- Aumento na disponibilidade dos nutrientes
- Aproveitamento de P, K, S e Mo
- Melhoramento da estrutura do solo
- Aumento na atividade de microrganismos
 - (1) mineralização da matéria orgânica
 - (2) fixação do N

**MAIOR
PRODUÇÃO**

Localização: Pré plantio em área total.



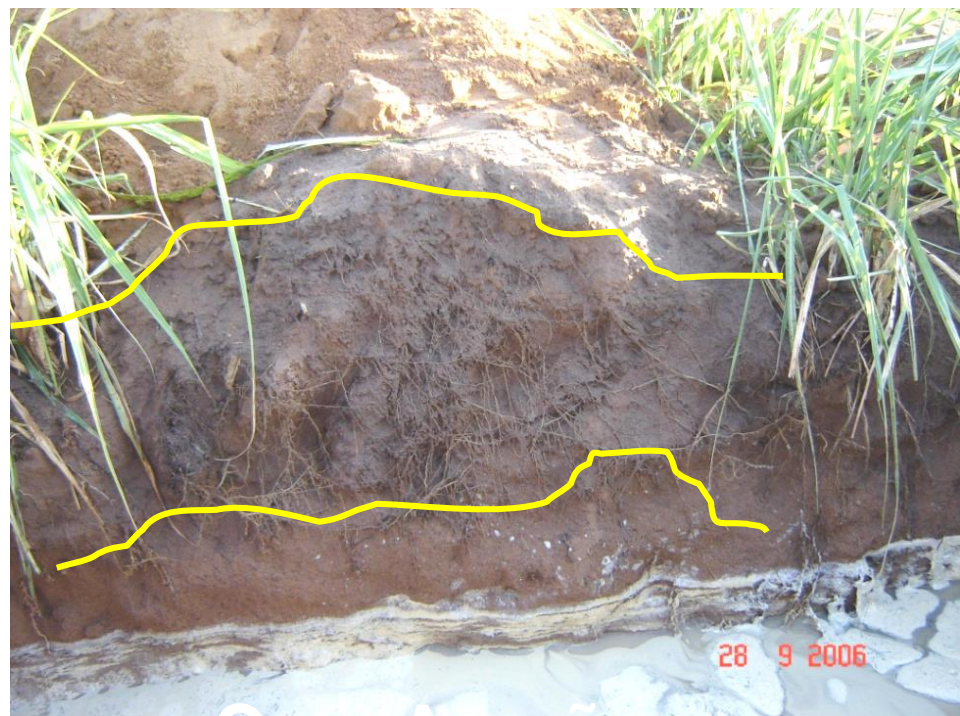
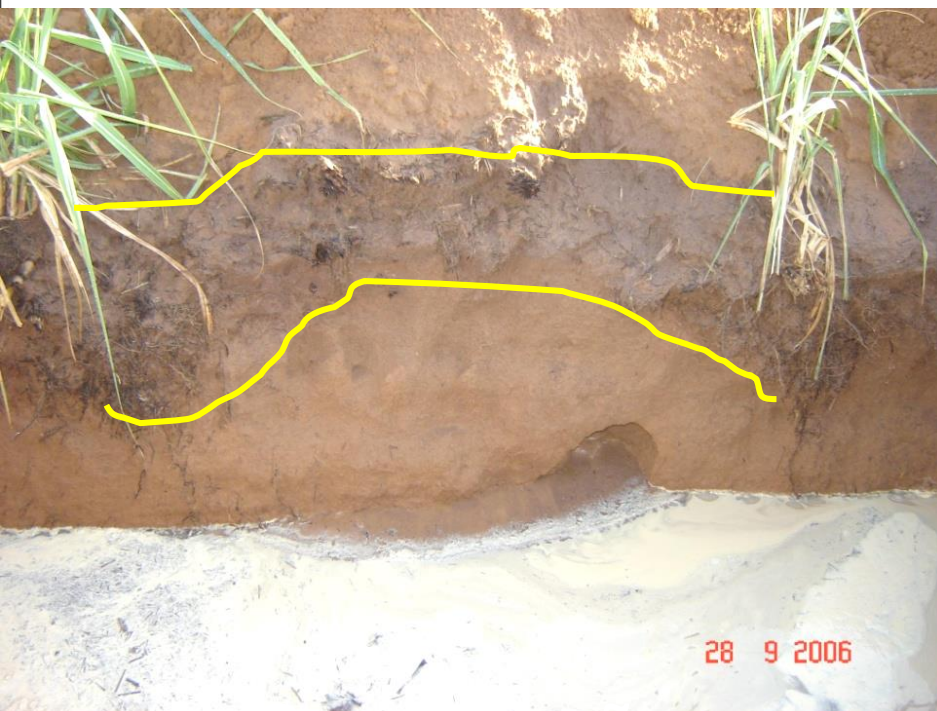
Reforma do canavial – Cana Planta



Incorporação do calcário



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Tratamento	Estágio	TCH	SOLO	Ganho TCH
Gradagem	1C	54,43	AQ-II	20,75
Aração	1C	75,18	AQ-II	



INÍCIO

CHAVE PARA TOMADA DE DECISÃO DO PREPARO DO SOLO

TALHÕES PARA
RENOVAÇÃO

FERTILIDADE
SUBSUPERFÍCIE
 $V > 35\%$

SIM

PRAGAS
DE SOLO

NÃO

COMPACTAÇÃO
DE SOLO

NÃO

PREPARO
DIRETO

NÃO

PREPARO
CONVENCIONAL

S
I
M

S
I
M

PREPARO
REDUZIDO



- O que é?
 - Correção vertical do solo do ponto de vista químico e físico;
- Por que?
 - Possibilitar maior volume de solo adequado para o desenvolvimento das raízes;
- Resulta em que?
 - Maior crescimento radicular;
 - Menores perdas de nutrientes por lixiviação;
 - Maior ciclagem de nutrientes;
 - Melhor drenagem da água;
 - Plantas mais tolerantes a eventuais períodos de stress hídrico;



- Calagem (com incorporação profunda, corretivo de alta reatividade);
- Gessagem;
- Plantas de cobertura com alta capacidade de formação de biomassa radicular;



Arado trabalhando 35 cm de
profundidade





Trincheira mostrando raíz de brachiaria



Subsolador Adubador Kamaq com 4 hastes (SAK-4)



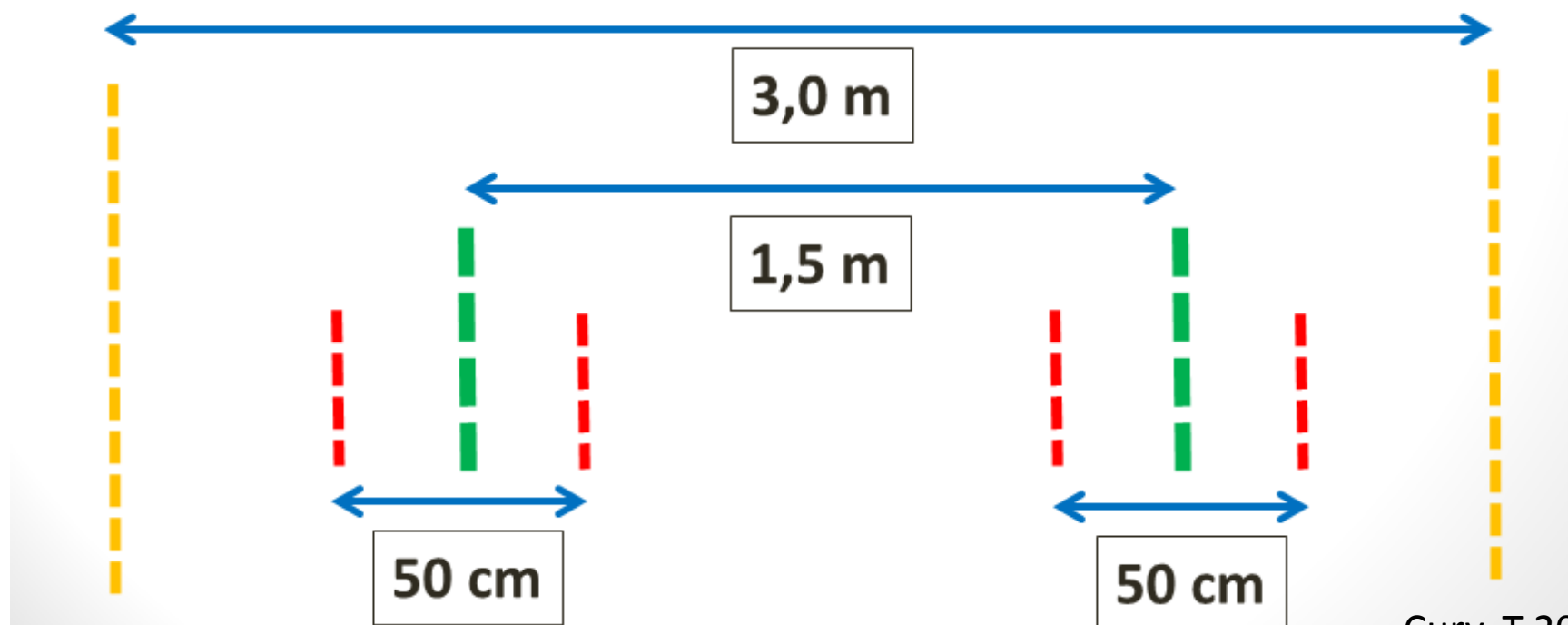
Incorporação profunda de calcário



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



O enterrio do calcário é feito com piloto automático em cima do projeto de plantio onde o mesmo é enterrado na posição que as linhas vermelhas indicam no desenho.



- Profundidade: 25 – 50cm
- $V_2 = 70\%$
- $PRNT = 175\%$
- Dose mínima: 300 kg ha^{-1}
- Dose máxima: 600 kg ha^{-1}

$$NC = \frac{(70 - V_1) \cdot CTC}{10 \cdot 175}$$

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

Preparo do solo “Localizado” ou “Canteirizado”



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Equipamento mafes: PENTA



PROF. PEDRO HENRIQUE DE CERQUEIRA LUZ
AGRARIAS/USP

02/08/2013

**MELHORIA DA INFILTRÇÃO VERTICAL DOS SOLOS:
Haste de 80 a 100 cm**



02/08/2013

Acamamento superficial com enxada rotativa = “cama para semente”



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



02/08/2013

LUZ, Pedro Henrique (2013)
- AGRÁRIAS-USP

Avaliação da compactação “antes e depois” da operação



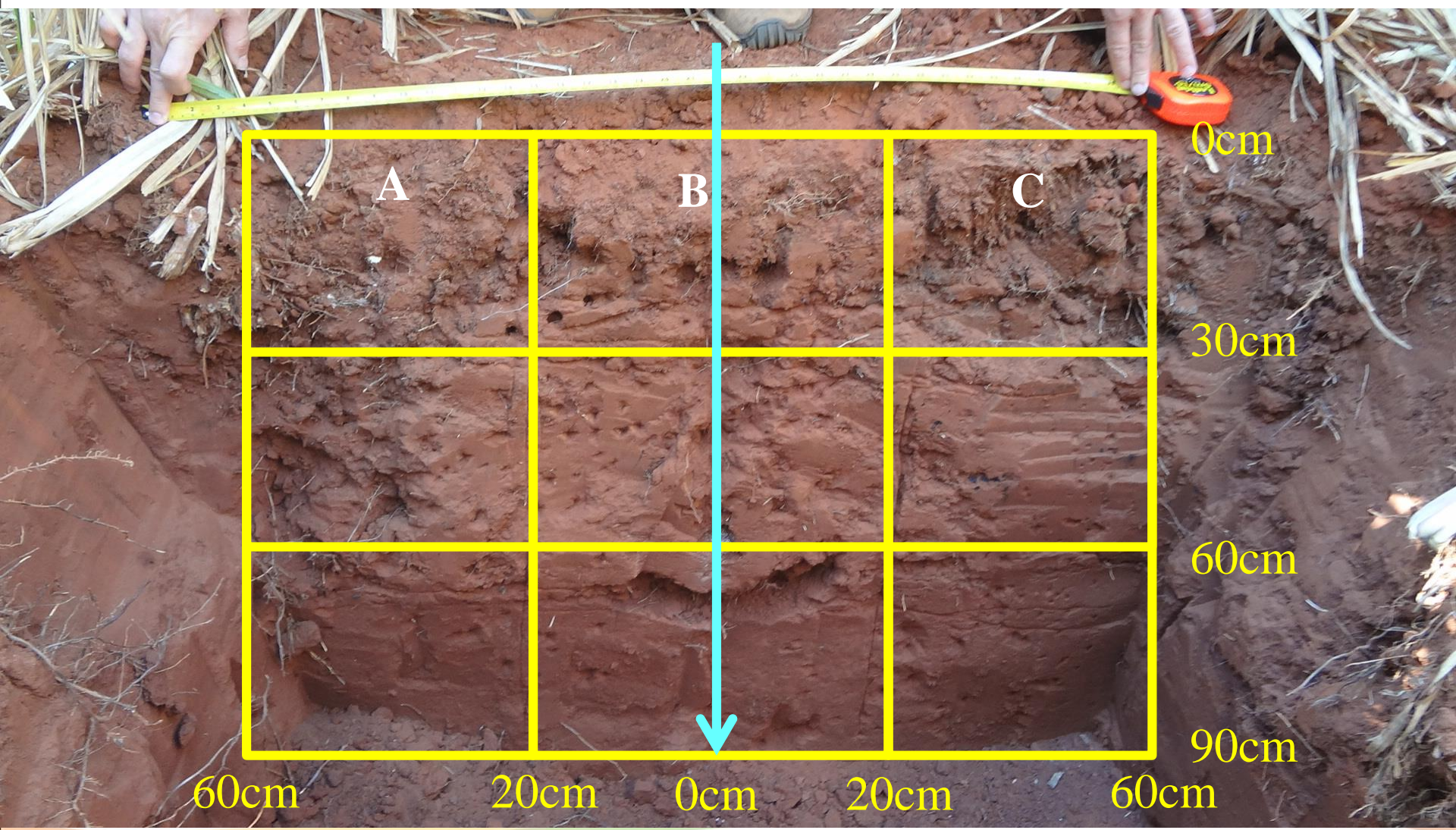
VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



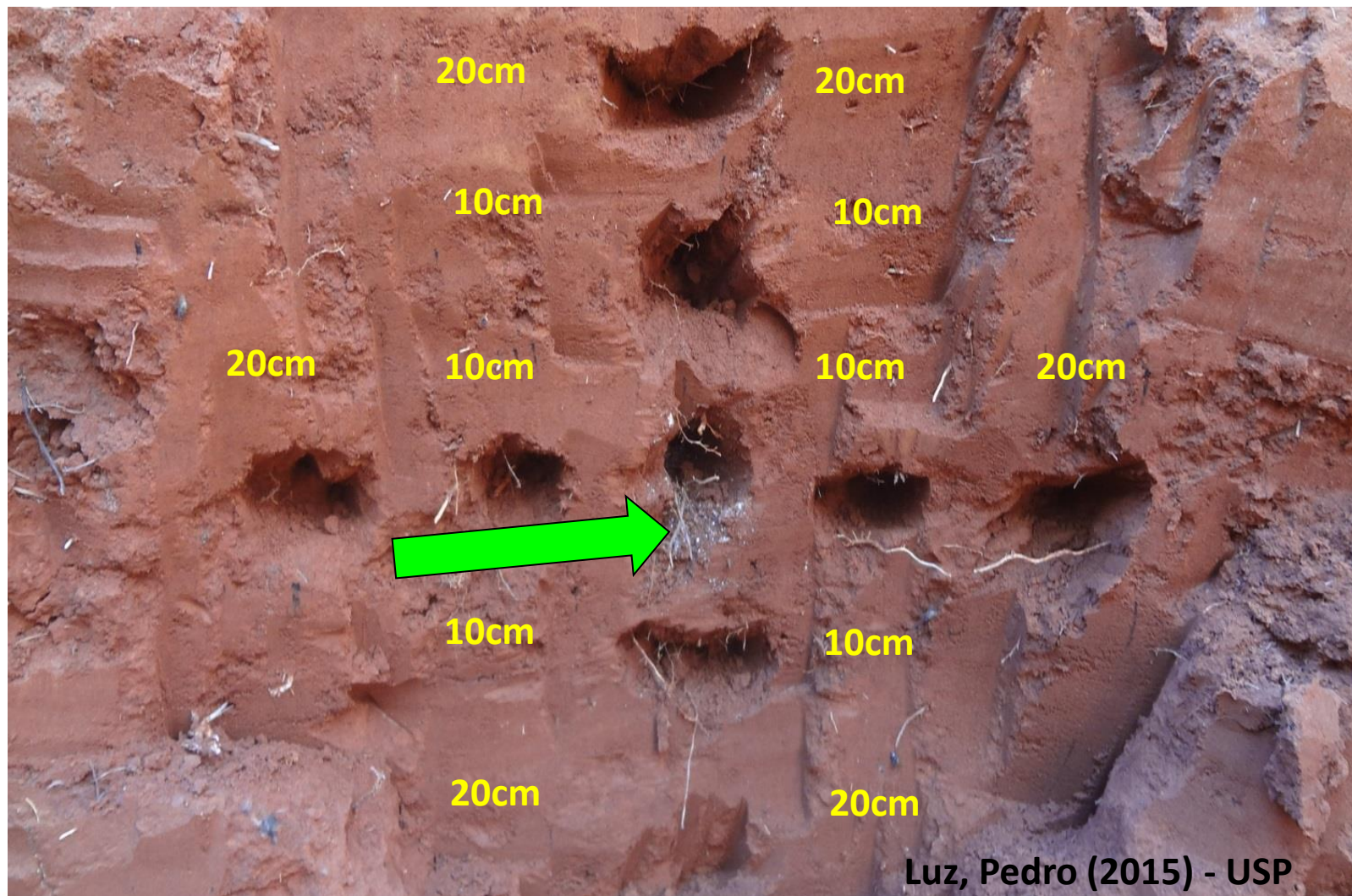
**LUZ, Pedro Henrique (2013)
- AGRÁRIAS-USP**

02/08/2013

Projeto Preparo “Penta” – Agroterenas nov/14



Projeto Preparo “Penta” – Agroterenas nov/14 Região de aplicação de corretivo = calcário



Projeto Preparo “Penta” – Agroterenas nov/14 2ª profundidade de aplicação = 60 cm 6 meses após preparo

Cálcio					
		20	14.00	20	
	20	10	11.00	10	20
	12.00	12.00	30.00	10.00	12.00
		10	12.00	10	
		20	10.00	20	

Magnésio					
			5.00		
			5.00		
	4.00	4.00	23.00	5.00	4.00
			6.00		
			4.00		

pHCaCl2					
			4.9		
			4.6		
	4.9	4.8	5.8	4.9	4.6
			5.1		
			4.8		

Saturação por Bases - V%					
			45.0		
			26.3		
	41.4	39.8	71.6	40.7	33.7
			47.6		
			38.7		

SATURAÇÃO POR BASES

Cana planta:

$$NC = \frac{((60 - V_1) CTC^{(1)}) \times 1,25 + ((60 - V_1) CTC^{(2)}) \times 1,25}{10 \times PRNT}$$

NC = t/ha de calcário (0 – 50 cm)

(1) CTC = 0 a 25 cm ($\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$)

(2) CTC = 25 a 50 cm ($\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$)

MÉTODO DO Ca E Mg (COPERSUCAR)

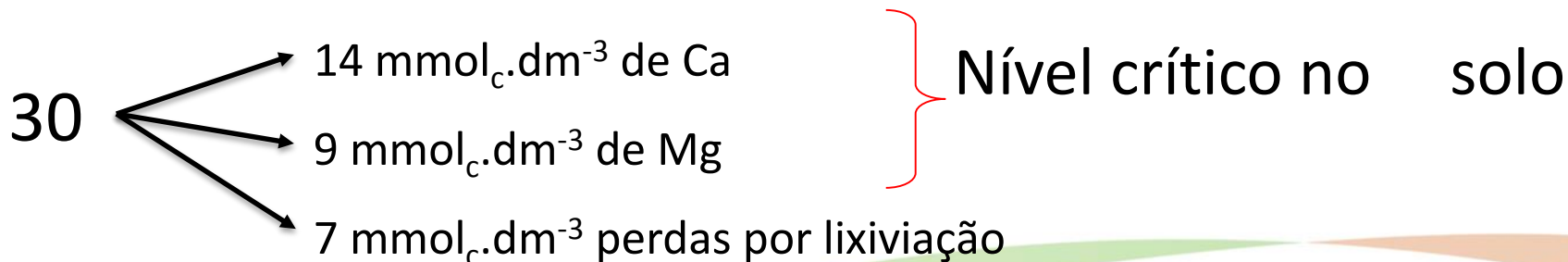
Cana planta: solos arenosos.

$$NC = \frac{30 - (Ca + Mg)}{PRNT} \times 10$$

NC = t/ha de calcário

Ca + Mg ($\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) (25 a 50 cm)

Em solos muito arenosos aplicar as 2 fórmulas (V% nas duas camadas e Ca + Mg na camada subsuperficial) utilizando a que apresentar maior valor.



Calagem em cana soca



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Amostragem em anos ímpares e calagem em anos pares.

Cana-soca:

SATURAÇÃO POR BASES:

$$NC = \frac{(70 - V_1) \times CTC}{10 \times PRNT}$$

CTC está expressa em mmolc/dm^3
(VITTI; MAZZA, 1998)

Critério do Ca + Mg:

$$NC = \frac{\{40 - (Ca + Mg)\} \times 10}{PRNT}$$

CTC, Ca e Mg expresso em mmolc dm^{-3}
(COPERSUCAR)

Obs: Usar critério que apresentar maior dose.

Amostragem e calagem em anos ímpares.

Cana-soca:

SATURAÇÃO POR BASES:

$$NC = \frac{(60 - V_1) \times CTC}{10 \times PRNT}$$

CTC está expressa em mmolc/dm^3
(VITTI; MAZZA, 1998)

Critério do Ca + Mg:

$$NC = \frac{\{30 - (Ca + Mg)\} \times 10}{PRNT}$$

CTC, Ca e Mg expresso em mmolc dm^{-3}
(COPERSUCAR)

Obs: Usar critério que apresentar maior dose.

Áreas de vinhaça:

Elevar a saturação de Mg a 15% da CTC ou ao nível crítico de 9,0 mmolc dm⁻³ em áreas com alta saturação por potássio e baixo ATR:

Solo com CTC > 60 mmolc dm⁻³

$$NC = \frac{[(0,15 \times CTC_{0-25cm}) - Mg_{0-25cm}] \times 5}{MgO_{\text{corretivo}}}$$

**Solo com
CTC < 60 mmolc dm⁻³**

$$NC = \frac{(9 - Mg_{0-25cm}) \times 5}{MgO_{\text{corretivo}}}$$

NC = Necessidade de calagem (t ha⁻¹)

CTC_{0-25cm} = Capacidade de troca catiônica na camada de 0 – 25cm (mmolc dm⁻³)

Mg = Teor de magnésio no solo na camada de 0 – 25cm (mmolc dm⁻³)

MgO = Teor de óxido de magnésio do corretivo em %.

*Priorizar o uso de fontes corretivas contendo exclusivamente magnésio: magnesita, óxido e hidróxido de magnésio.



$$F.C. = \frac{P.C. + P.F.}{P.R.N.T.}$$

F.C. = Fórmula de comprar calcário

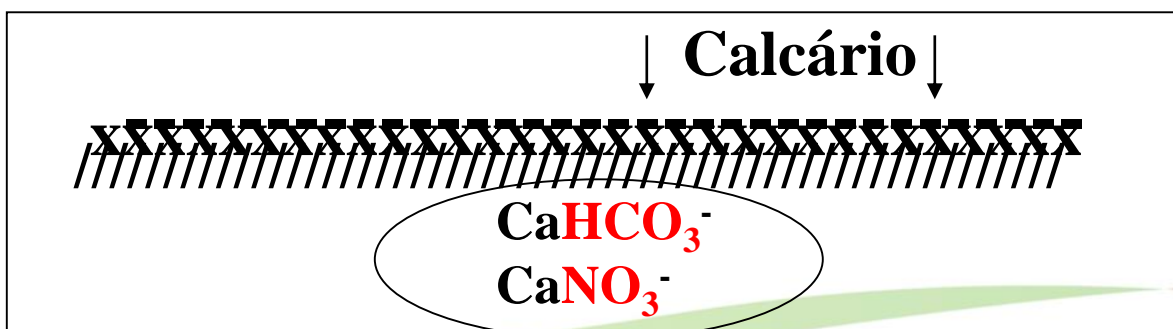
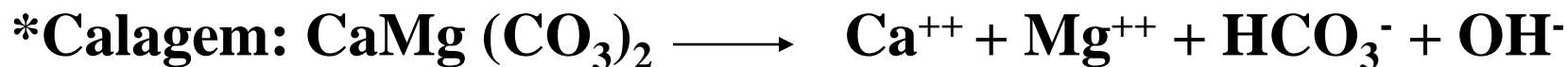
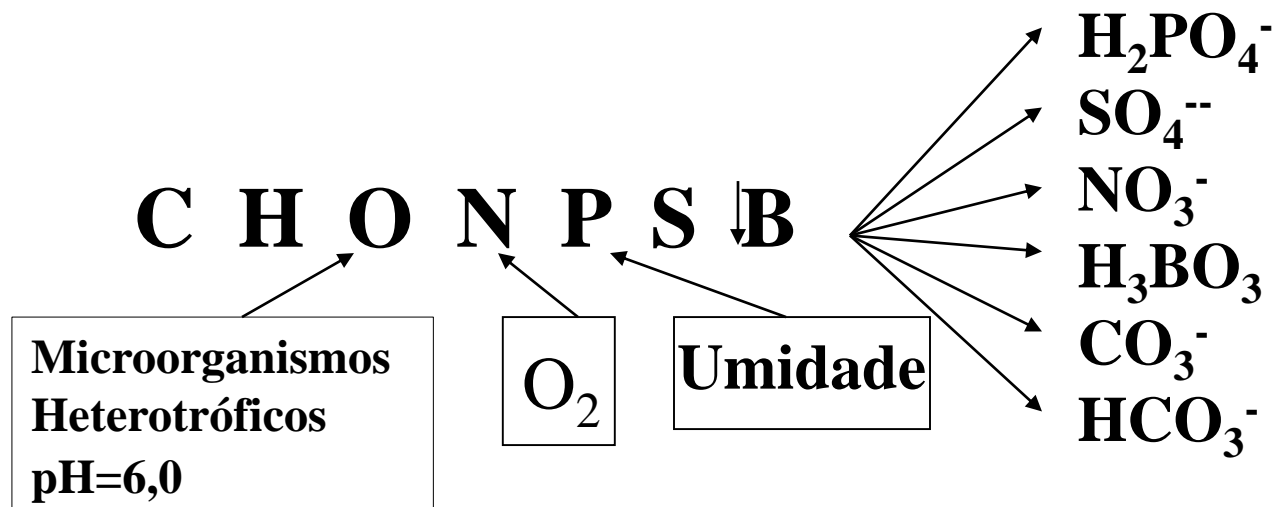
P.C. = Preço do calcário

P.F. = Preço do frete

P.R.N.T. = Poder relativo de neutralização total

Obs.: O agricultor deve comprar o calcário que apresentar o menor custo por PRNT.

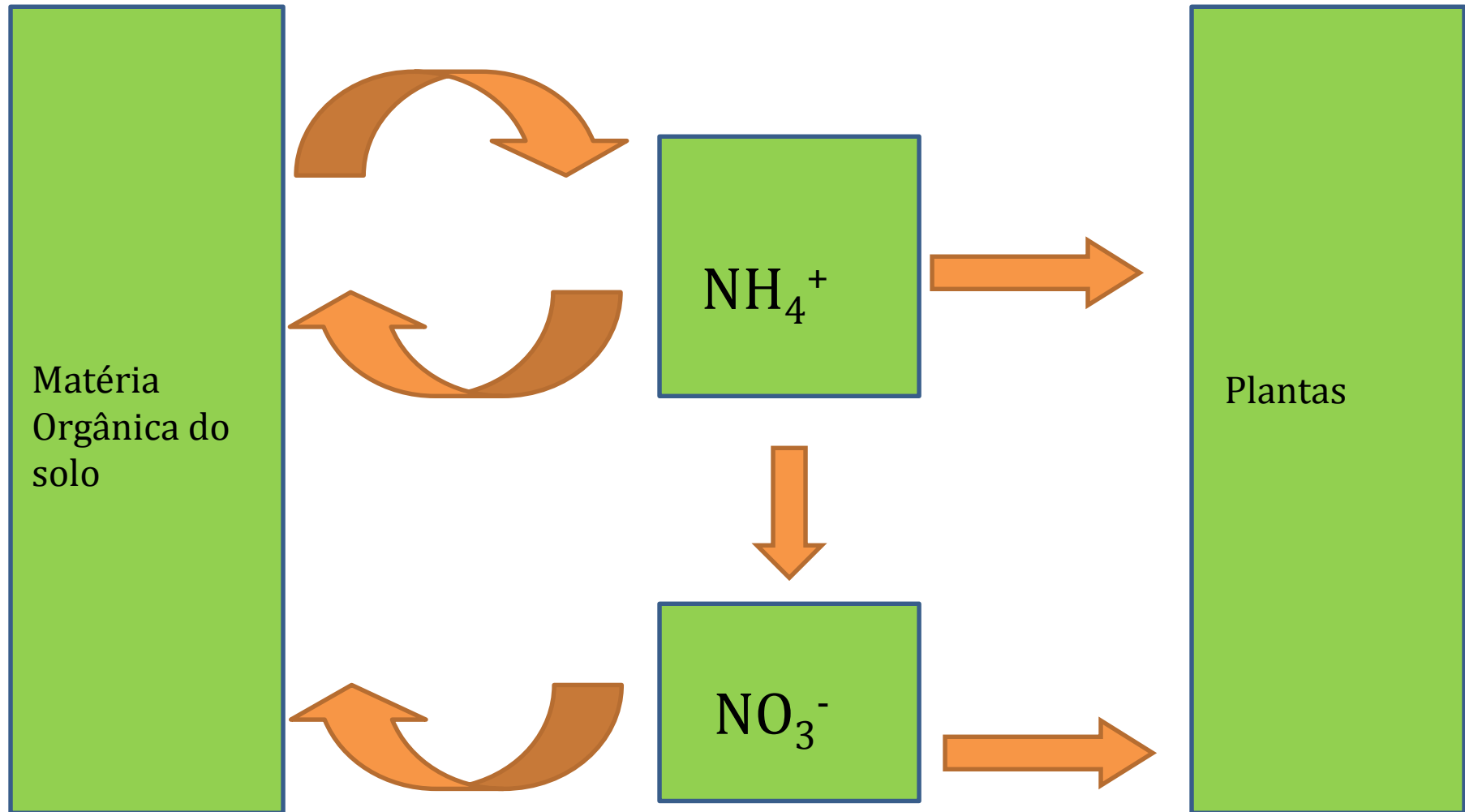
Mudanças no sistema solo-planta no plantio direto e colheita de cana crua



Mineralização da matéria orgânica



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Mecanismos envolvidos na correção da acidez do subsolo pela calagem superficial



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



- ✓ 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 (N) e sulfurados (S)
- ✓ Manejo de resíduos orgânicos

ML⁰ ou ML⁻¹ (M = Ca ou Mg) - mobilidade no solo

Subsolo: M – complexos orgânicos – deslocado pelo Al^{+3} : complexos mais estáveis – redução de acidez trocável



2. Raízes mortas: Canais = Processo mecânico
3. Calcário + Fertilizantes N e S
4. Resíduos orgânicos (plantas de cobertura/animal)
 $\text{M} (\text{Ca, Mg e Al}) + \text{L} (\text{Ligante orgânico}) \rightarrow \text{ML}$
5. Aplicação de gesso sobre o calcário

Aplicação de calcário “superficial” em solo argiloso

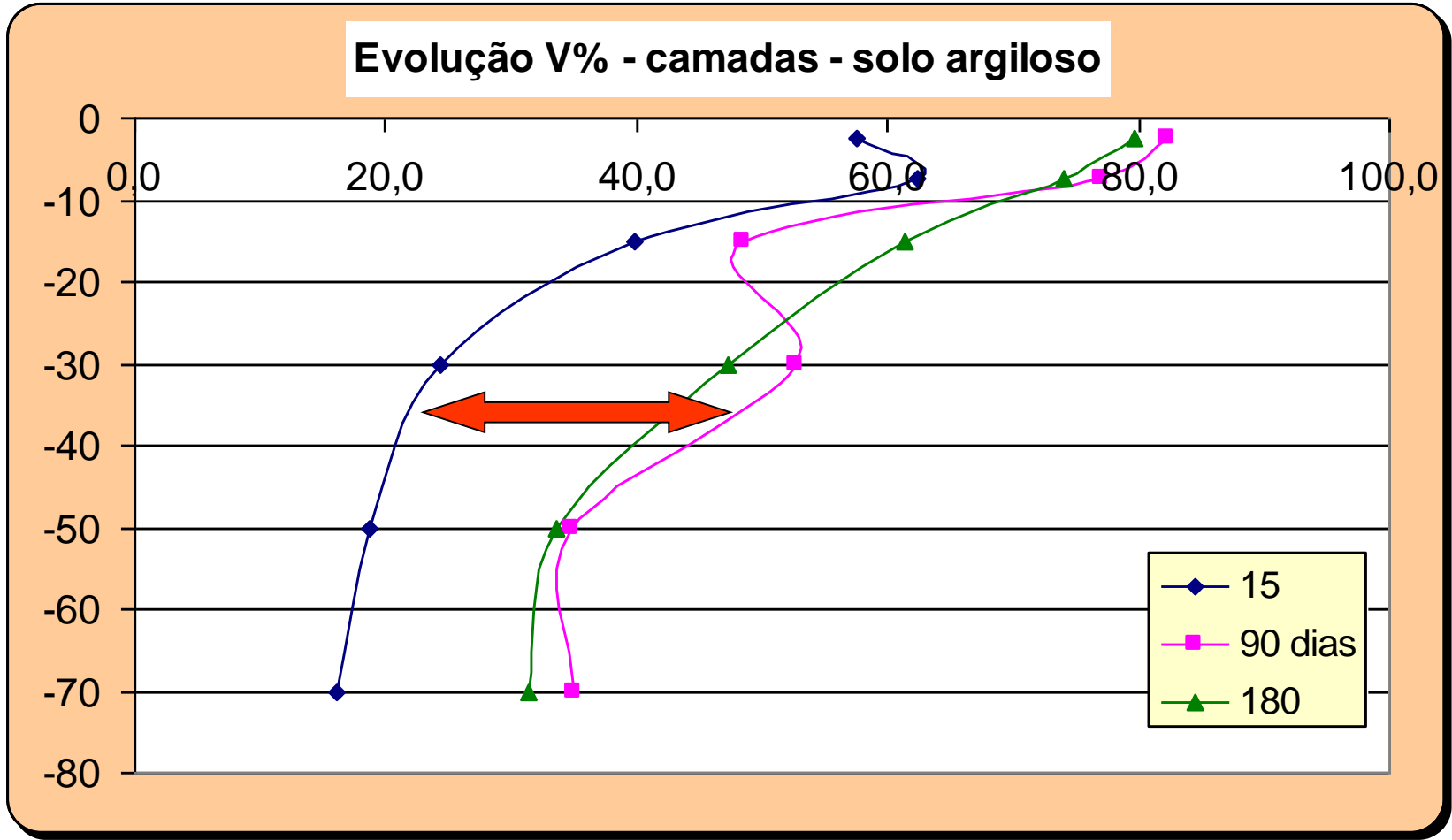


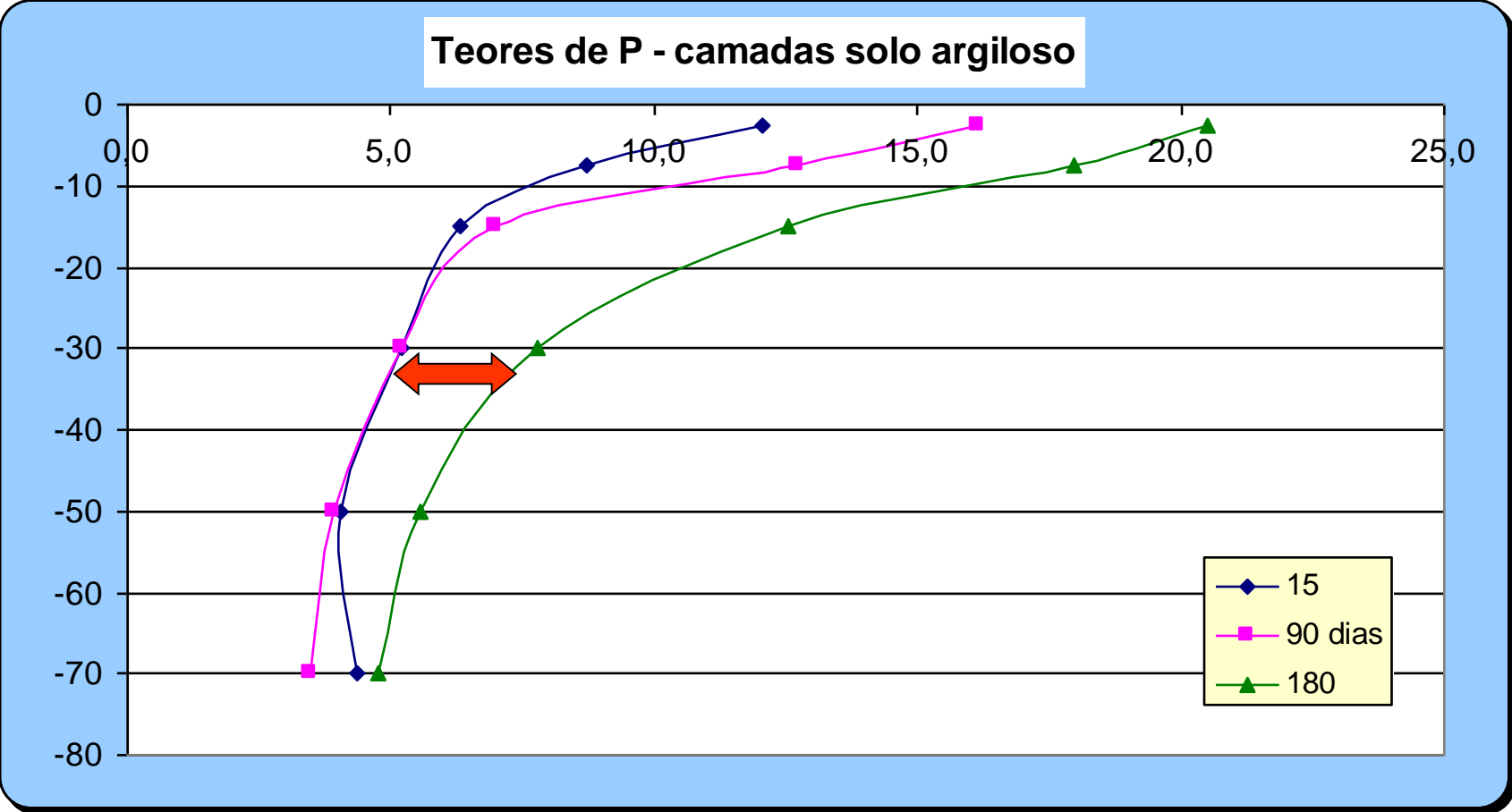
VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE

CODE



LUZ P. H. de C. (2006)





Fontes corretivas:

– Carbonato de Mg (Magnesita)

- MgCO_3 – 25% de Mg – 41% de MgO (T)

– Hidróxido de Mg

- Mg(OH)_2 – 35% de Mg – 58% de MgO (T)

– Óxido de Mg (Q-Mag)

- 45% de Mg – 74% de MgO (T)

– Termofosfato magnesiano (Yoorin)

- 7% de Mg -11% de MgO (T)

Fontes salinas:

– Kieserita

- $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 16% Mg – 26,5% de MgO (A)

– Sulfato duplo de K e Mg (K-Mag / Langbeinita)

- $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ – 10 % Mg – 16,6% de MgO (A)

– NitroMag (YaraBela)

- 27% N, 4% Ca, 2% Mg – 3,3% de MgO (A)

Fonte parcialmente acidulada:

– Oxissulfato de Mg (Produmag)

- MgO-MgSO_4 – 30% Mg – 50% de MgO (T)

Fontes solúveis (sais):

– Epsomita – Sulfato de Mg

- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 9% Mg – 15% de MgO (A)

– Cloreto de Mg

- $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 10% Mg – 16,5% de MgO (A)

– Nitrato de Mg

- $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ – 8% Mg - 13% de MgO (A)

– Acetato de Mg

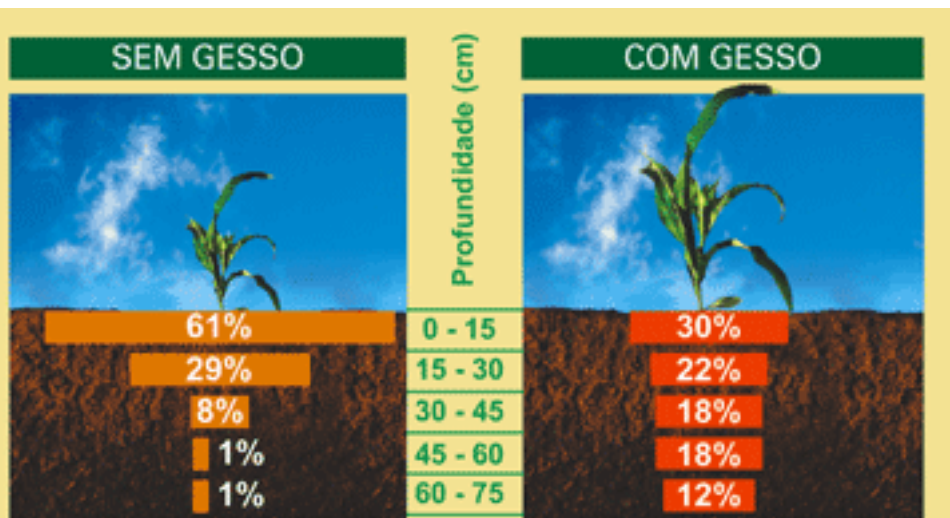
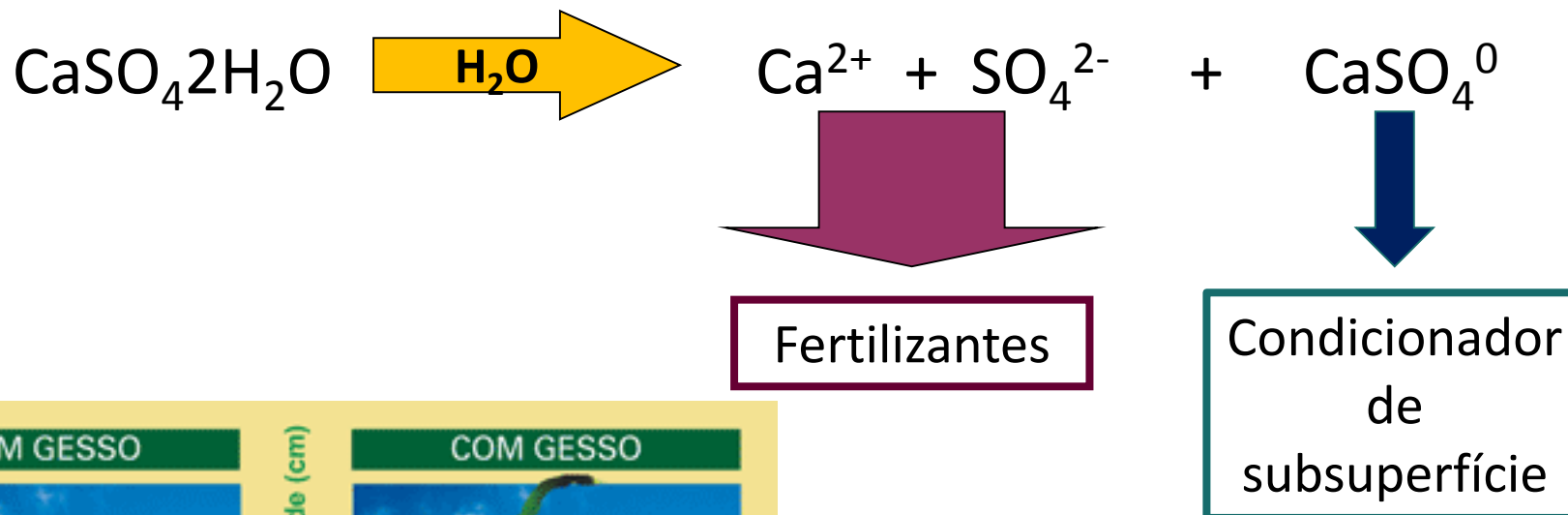
- $\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ – 13% Mg – 21,5% de MgO (A)

Composição:

CaSO ₄ .2H ₂ O.....	96,50%
CaHPO ₄ .2H ₂ O.....	0,31%
[Ca ₃ (PO ₄) ₂].3CaF ₂	0,25%
Umidade livre.....	17%
CaO.....	26 - 28 %
S.....	15%
P ₂ O ₅	0,75%
SiO ₂ (insolúveis em ácidos).....	1,26%
Fluoretos (F).....	0,63%
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ +F ₂ O ₃).....	0,37%

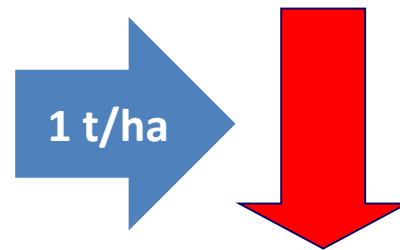
Comportamento do gesso no solo

➤ Dissociação:



Comportamento do gesso no solo

Correspondência entre o gesso

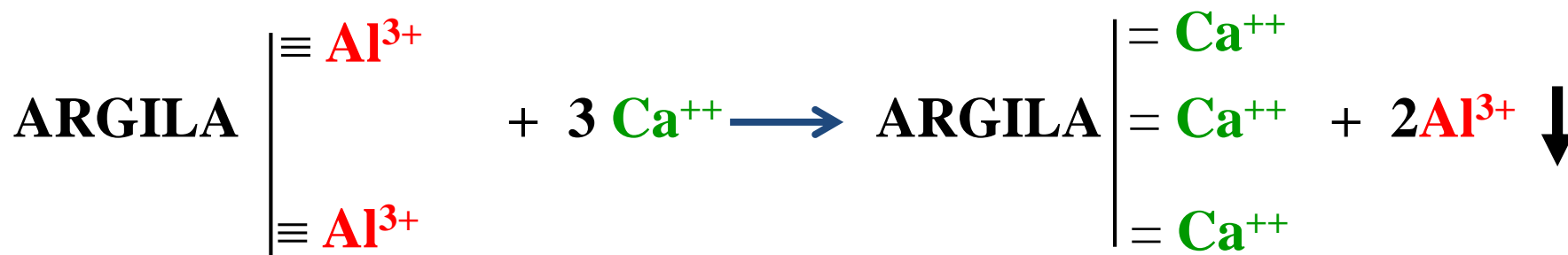


200 kg/ha de Ca = 260 kg/ha de CaO

150 kg/ha de S

5,0 mmol_c Ca / dm⁻³ ou 0,5 cmol_c Ca / dm⁻³

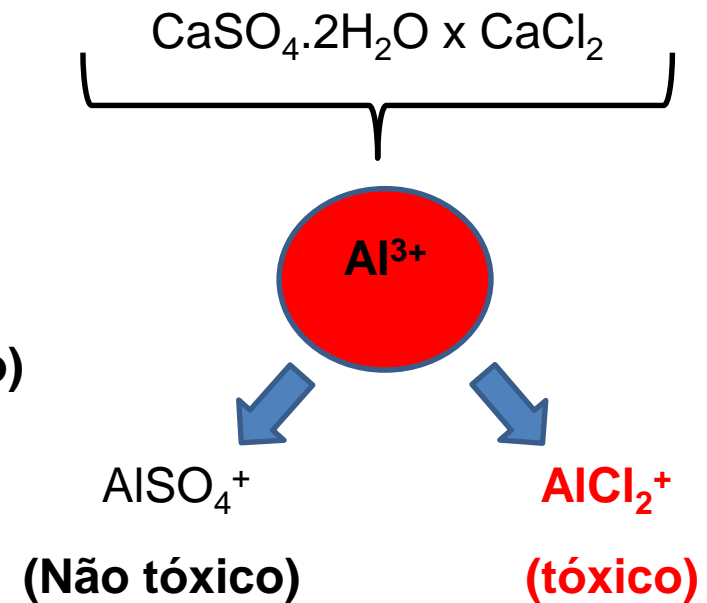
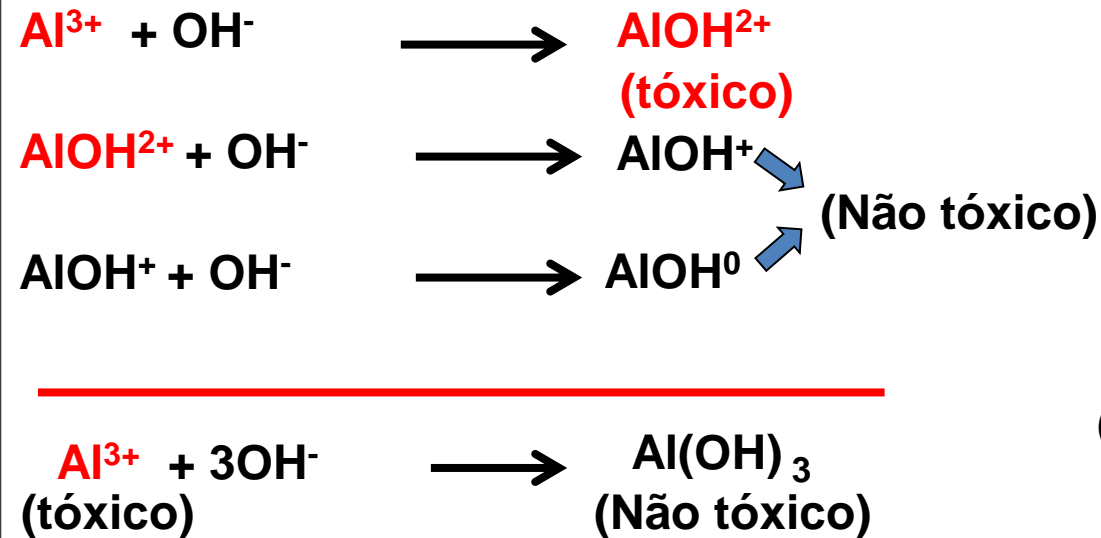
Condicionador de sub-superfície:



Condicionador de sub-superfície:

Mecanismos / Resultados

Complexação do Al^{3+}



Uso de corretivos e condicionadores de solo

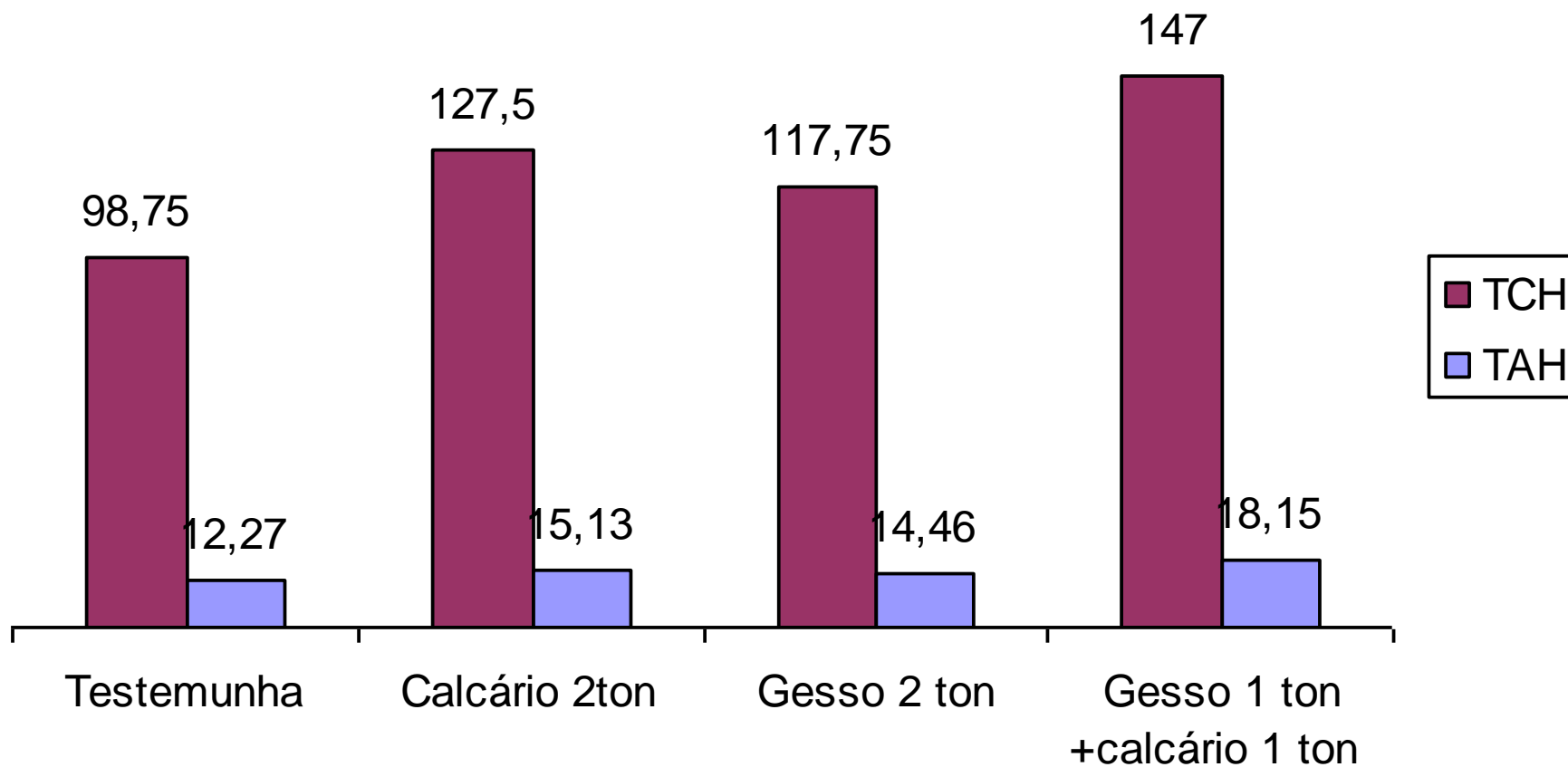


VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Produção em t ha⁻¹ na cana planta (LVd) m = 80% e Argila > 70% - PE

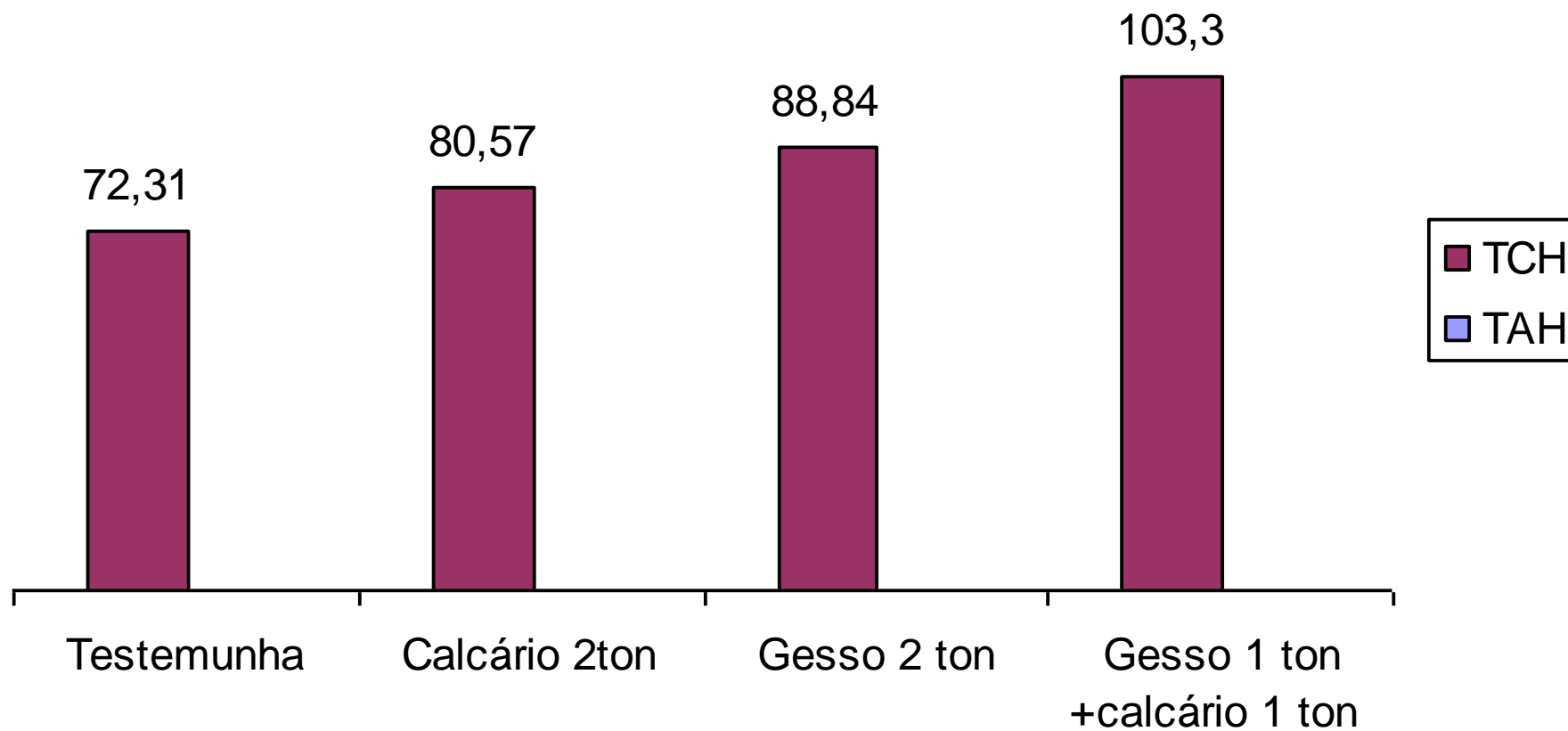
Colheita 1 - Trapiche



(Oliveira et al., 2005)

Efeito Residual, Produção em t ha⁻¹ na 1^o soca

Colheita 2 - Trapiche



Diagnóstico:

Amostras de 20 a 40cm

- $\text{Ca} < 5 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ ou $0,5 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$;
- $\text{Al} > 5 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ ou $0,5 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$;
- Saturação por alumínio (m%) > 30

ou

- Saturação por bases (V% < 30 : Distróficos)

Recomendação:

Recomendação de gesso agrícola em função da classificação textural do solo para culturas anuais. (SOUZA et al., 1996).

Textura do solo	Argila (%)	Gesso (kg.ha ⁻¹)
Arenosa	< 15	700
Média	16 a 35	1200
Argilosa	36 a 60	2200
Muito Argilosa	> 60	3200

$$\text{NG (kg.ha}^{-1}\text{)} = 50 \times \% \text{ argila (SOUZA et al., 1996)}$$

$$\text{NG (kg.ha}^{-1}\text{)} = 5 \times \text{g.kg}^{-1} \text{ de argila (SOUZA et al., 1996)}$$

Condicionador de sub-superfície

Critério de recomendação

$V < 30 \%$ (camada de 20 a 40 cm)

$$NG \text{ (t/ha)} = \underline{(V2 - V1) \times CTC}$$

50* ou 500**

V2 = saturação por bases desejada em subsuperfície (50%)

V1 = saturação por bases atual do solo em subsuperfície

CTC = capacidade de troca catiônica efetiva em subsuperfície em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ *

50*: $CTC = \text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$

500**: $CTC = \text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$

Efeito fertilizante: Fonte de enxofre

$S < 15 \text{ mg.dm}^{-3}$ e não necessitou de gesso como condicionador.

→ Área de expansão (0-25 cm)
→ Área de reforma (25-50 cm)

Quanto ? 35 a 50 kg de S para 100 t de colmos

S (mg dm^{-3})	Gesso (kg ha^{-1})
0-5	1000
6-10	750
11-15	500
> 15	0

Aplicação de gesso via composto orgânico

Us. Catanduva – V.O.



Fertilizante	Fórmula Química	Teor de Enxofre (%)
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Superfosfato simples	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12
Gesso e fosfogesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15-18
Enxofre Elementar	S	>85
Sulfato de Potássio	K_2SO_4	18
Sulfato duplo de Magnésio e Potássio	$\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MgSO}_4$	22
Sulfato de Magnésio (Epsomita)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	13
Tiosulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	26
Polisulfato de K, Ca e Mg	$\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	19
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20

Polissulfato de K, Ca e Mg

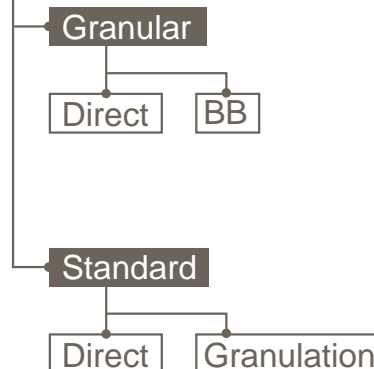
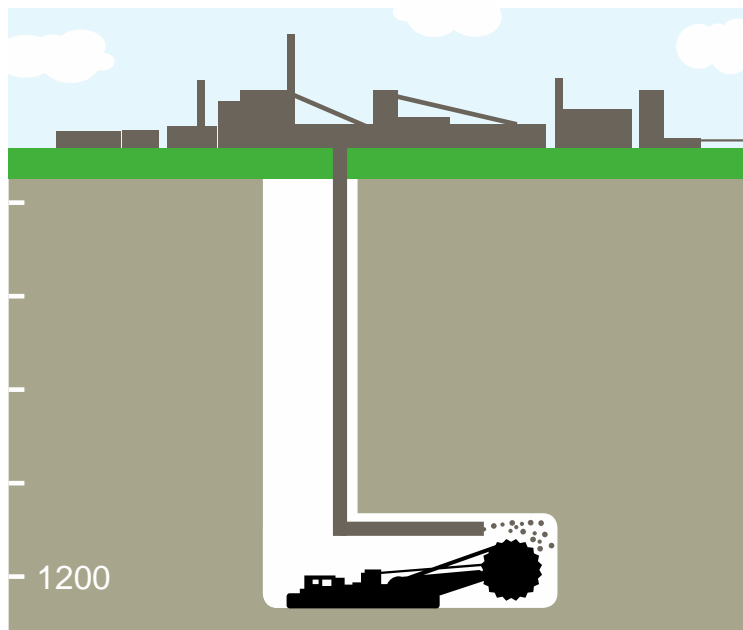


Fertilizante extraído da **polyhalita**, um mineral natural, cuja fórmula química é:

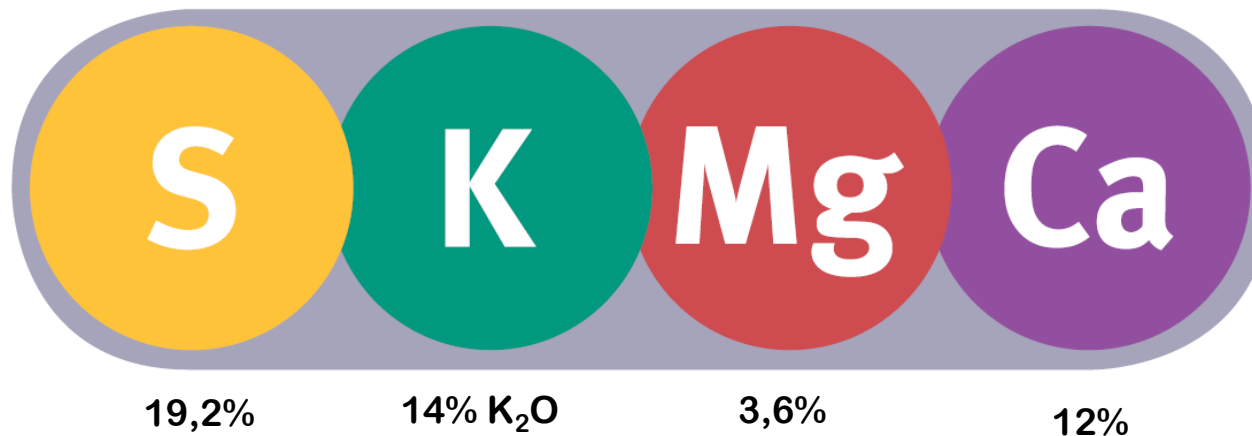


Formação durante evaporação de mares pré históricos.

Duas formas Físicas



Fonte: Vale, 2016.



- Três sulfatos naturais em mesmo mineral
- Todos no mesmo grânulo
- Quatro macronutrientes = 49% em concentração
- Produto natural
- Baixa salinidade



Fertilizante	% Enxofre	Densidade
Sulfonitrato de amônio ⁽¹⁾	7	--
Nitrosulfato de amônio ⁽²⁾	12	--
Uréia + Sulfato de amônio ⁽³⁾	12	--
Uréia revestida + Enxofre Elementar	10-30	--
Sulfuran ⁽⁴⁾	4	1,26
Fosfosulfato de amônio	14-20	--
Subprodutos orgânicos		
Ajifer® e CJ®	3,00	1,16
Vinhaça	0,15 a 0,30	1,01

(1) Mistura de 75% Nitrato de amônio + 25% Sulfato de amônio, 30%N

(2) Mistura de 50% Nitrato de amônio + 50% Sulfato de amônio, 27%N.

(3) Mistura de 50% Uréia + 50% + 50% Sulfato de amônio, 32%N.

(4) Mistura de Uran + 50% Sulfato de amônio.

- Enxofre pastilhado (90% S);

- Fontes de fósforo:

MAP + S (9 – 43 – 00 + 16%S)

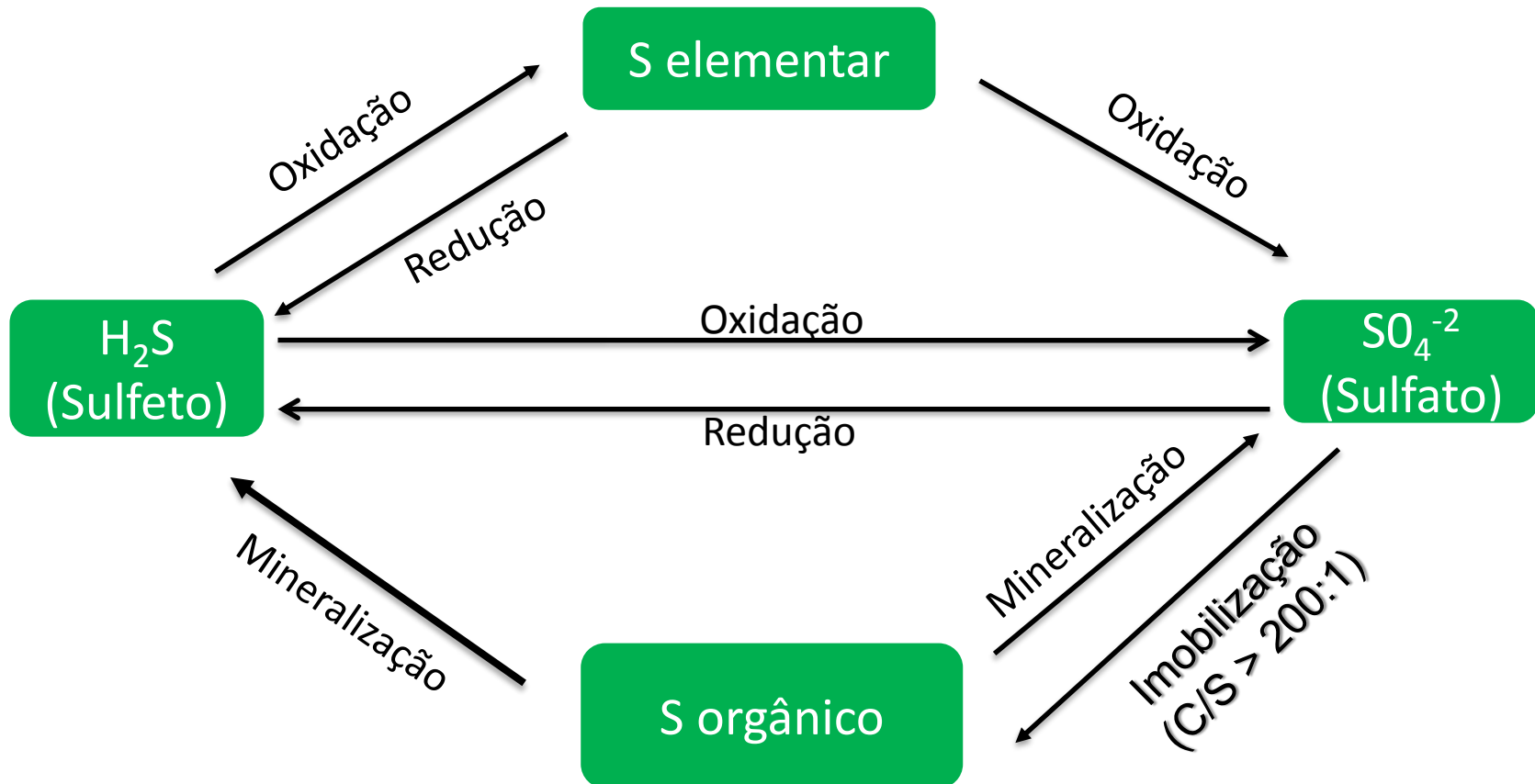
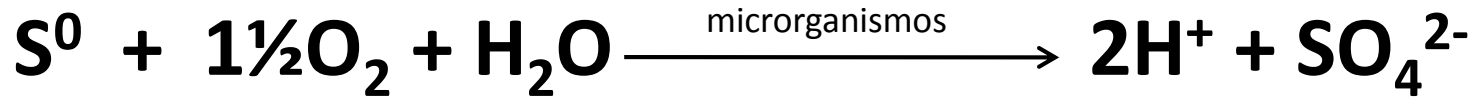
MAP + S (13 – 33 – 00 + 15%S)

TSP + S (00-37-00 + 16%S)

- Fontes de nitrogênio:

Ureia + S (37 – 00 – 00 + 16%S)

Ciclo do Enxofre no solo



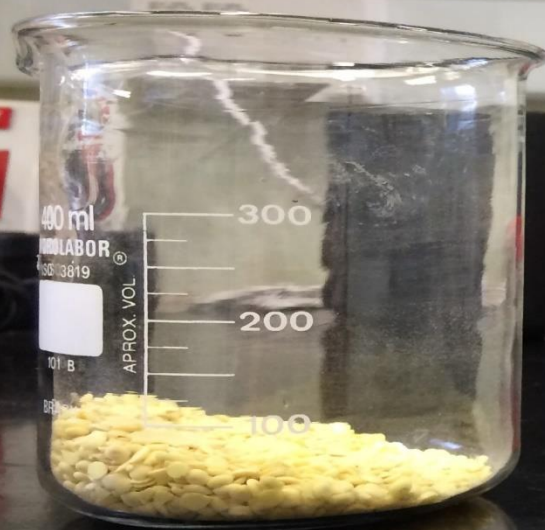
Solubilidade do Enxofre elementar



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



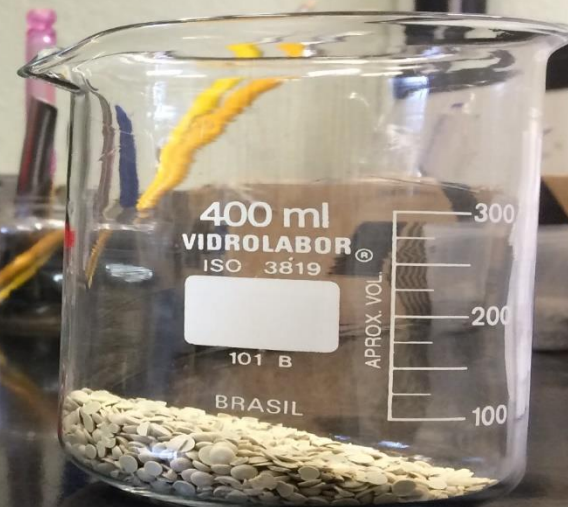
Fonte: GAPE (2015)



**50 g de S sem
bentonita**



200 ml de água



**50 g de S com
bentonita**



Sem Bentonita



Com Bentonita

24 horas

Fonte: GAPE (2015)

Teste de aplicação



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



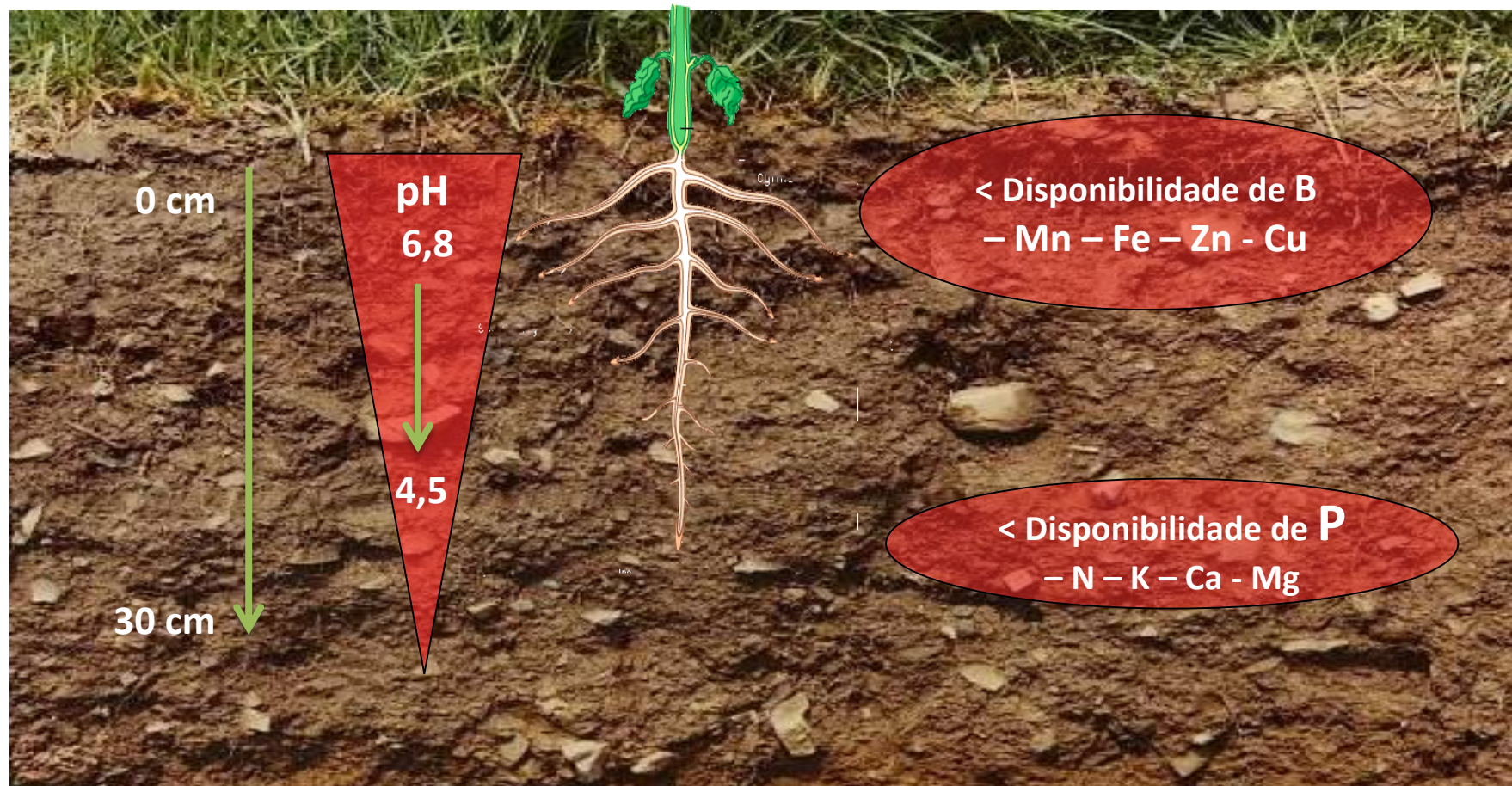
- 50 a 100 kg ha⁻¹ de enxofre pastilhado (20 m)
 - Vitor Campanelli – Severínia-SP



Gradiente de pH em solos de plantio direto



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



Fonte: Valduga, 2011

Oxidação do S_0 vs pH

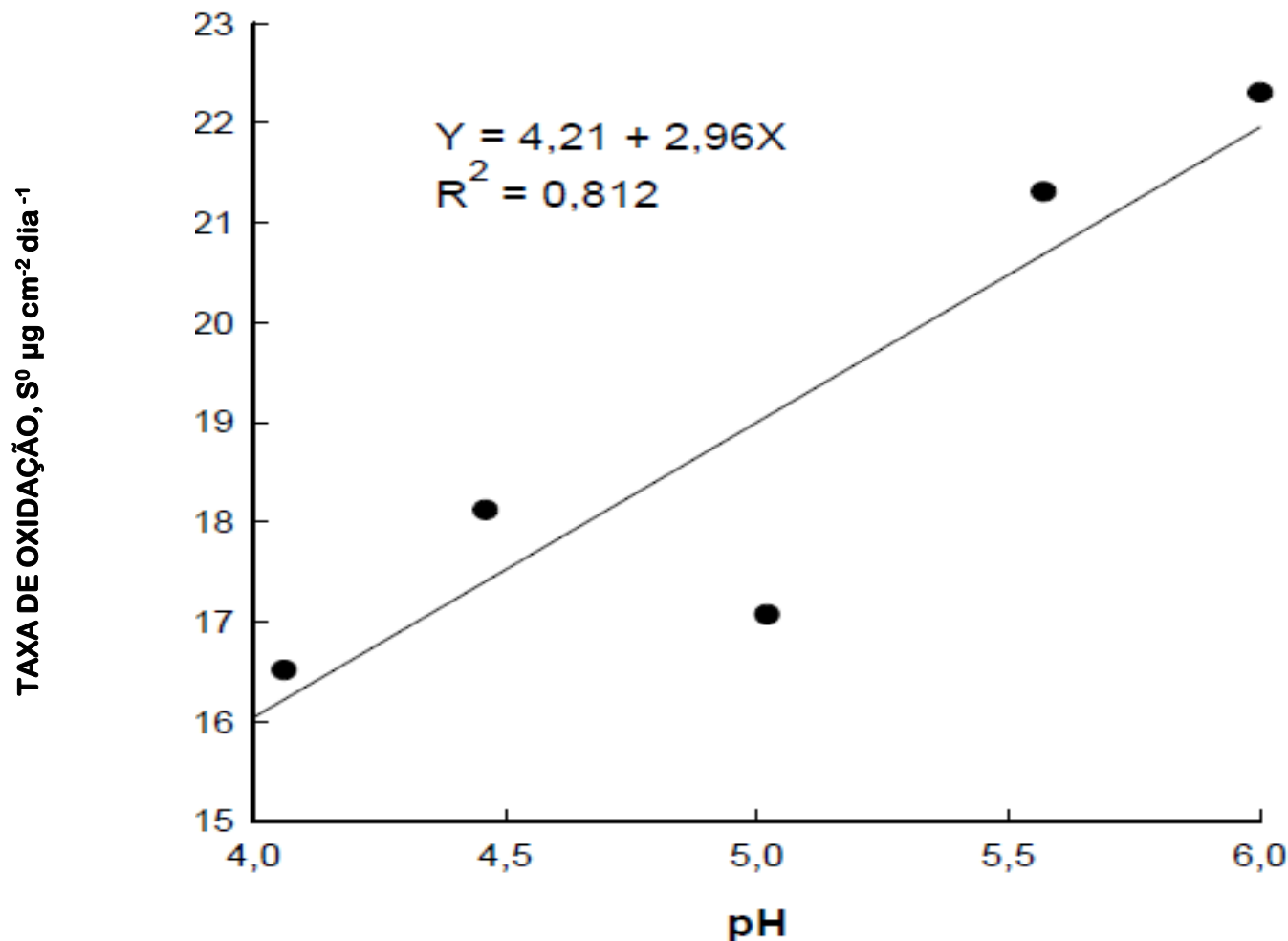


Figura. Relação entre o pH inicial e a taxa de oxidação em Latossolo Vermelho, 90 dias após da incubação do S elementar.

Ação maturador

Objetivo: aumento de ATR

11% cana precoce e 6% cana média

Época de aplicação: 2 meses antes da colheita (meados de fevereiro)

Dose	
B	H_3BO_3 (17%B)
180 g	1,1 kg

(Crusciol, 2013)

Dose	
Mg	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (9%Mg)
1,2 kg	13,0 kg

(Vitti & Otto, 2015)

- A relação média de exportação de **CaO/MgO** pela cana-de-açúcar é estreita, cerca de **1,3**, enquanto que, a dos calcários com maiores teores de MgO é mais larga (**1,7 a 3,0**)
- Esse desequilíbrio, aliado ao uso de altas doses de K_2O , principalmente em **áreas de vinhaça**, irá **induzir deficiências de Mg**, com consequências na qualidade da matéria prima.

- Há possibilidade do fornecimento Mg:
 - Na forma de fontes corretivas visando elevar o teor de **Mg no solo a 15% da CTC ou ao nível crítico de 9,0 mmolc dm⁻³** quando não houver necessidade de calagem pelos critérios do V% e dos teores de Ca + Mg.
 - Na forma de sais solúveis ou fontes parcialmente aciduladas na **dose de 30 a 50 kg ha⁻¹ de MgO**, principalmente em áreas com elevada saturação por potássio.
- São necessários maiores estudos para aplicação de Mg foliar antecipando aproximadamente 45 a 60 dias antes da colheita.

- **A deficiência de enxofre causa queda acentuada na produtividade** devido a este nutriente estar intimamente ligado à fixação e ao metabolismo do N na planta, bem como à resistência ao frio e à seca.
- As fontes de S na forma de sulfato (**SO₄⁼**) têm apresentado alta lixiviação. Fontes alternativas de **S na forma elementar** além de refletir em maiores teores de S no solo por mais tempo, também têm resultado em maiores aumentos na produtividade.

- A incorporação profunda e localizada de calcário tem apresentado resultados variáveis e inconstantes, podendo em muitos casos causar danos irreversíveis à estrutura do solo, principalmente em argissolos com a destruição do topo do horizonte B textural. Além disso, apresenta elevado custo operacional e baixo rendimento, sendo resultados positivos pontuais.

Lei do mínimo para a vida

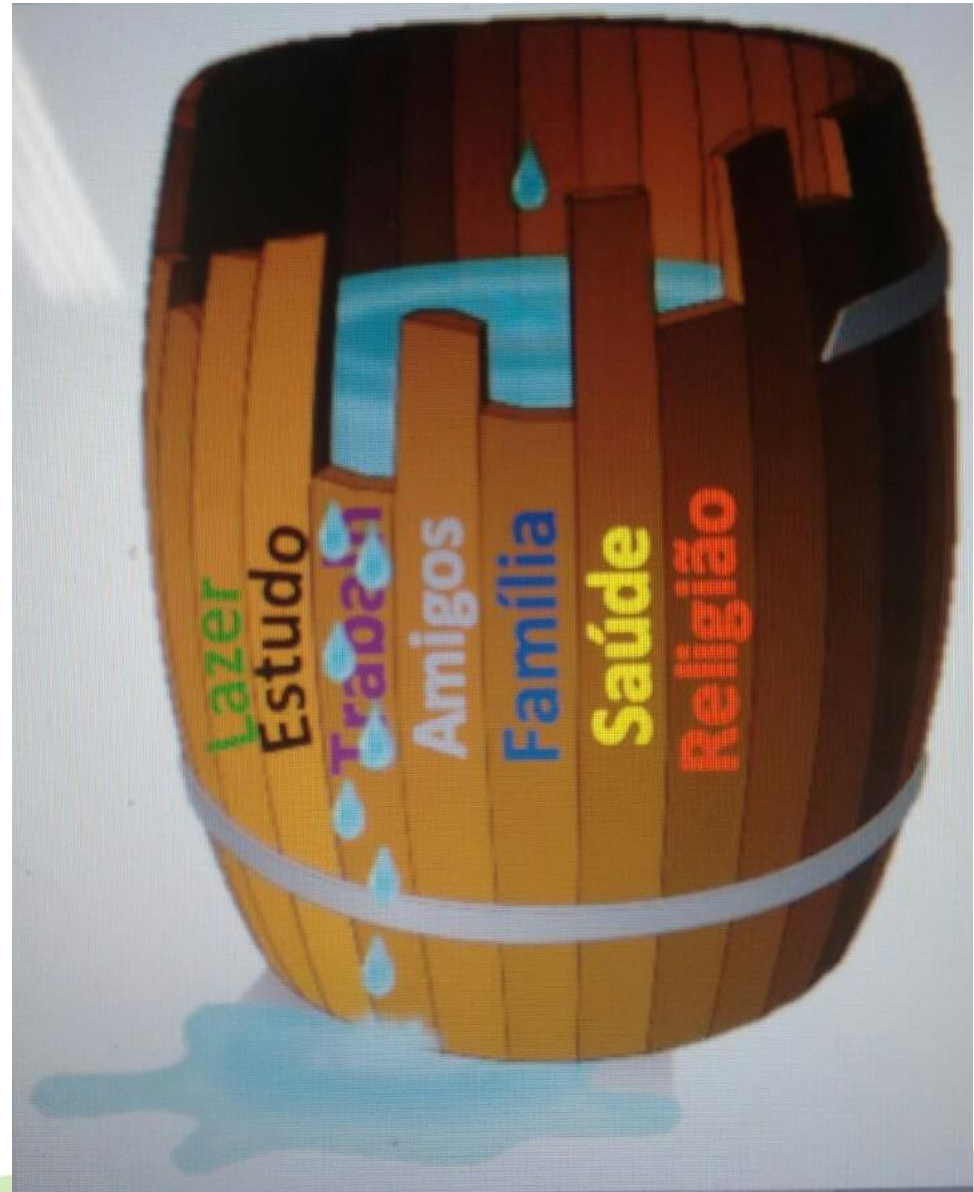


VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR



“Antes de atender a lei do mínimo no manejo nutricional das culturas citada por Liebig em 1840, procure primeiro atender à Lei do Mínimo para a VIDA.”

VITTI & VITTI, 2016





VIII SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti
gape.usp@gmail.com

Eng. Agr. Gerson Marquesi Netto (Safena)
gersonmnetto@gmail.com

Ac. Geovânia Moraes de Rezende (D-trã)
rezendegeovania@gmail.com





UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ
Departamento de Ciência do Solo



VIII SIMPÓSIO
TECNOLOGIA DE
SOLO DE
SÃO CARLOS



Curso de Especialização em Manejo do Solo

Em andamento em 12 cidades brasileiras.

INFORMAÇÕES

FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz)
Fone (19) 3417 6604 – E-mail: cdt@fealq.org.br; manejo@usp.br
www.facebook.com/manejodosolo

