

Simpósio
IPNI Brasil



BOAS PRÁTICAS PARA
USO EFICIENTE DE
FERTILIZANTES NA
CULTURA DO CITROS

08 e 09/OUTUBRO/2013
Bebedouro - SP

O USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES EM CITROS

Heitor Cantarella
Instituto Agrônômico
Campinas

Uso eficiente de fertilizantes: roteiro

- **Eficiência de fertilizantes**
- **Caracterização dos (principais) fertilizantes**
- **Fertilizantes e ambiente**
- **BPM: boas práticas de manejo**
- **Fósforo**
- **Nitrogênio**
- **Fertilizantes de eficiência aumentada**
- **Considerações finais**

Eficiência média de uso de nutrientes

- N: 40 – 60%
- P: 10 – 30%
- K: 50 – 70%
- O que significam esses números?
- Qual o horizonte de tempo?
 - Curto prazo: \$\$\$
 - Baixa eficiência em longo prazo: perda ou imobilização permanente

Solubilidade de alguns compostos usados como fertilizantes

Composto	Fórmula	Solubilidade em água (g/L)
Carbonato de cálcio	CaCO_3	0,014
Gesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,5
Fosfato monocalcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18
Fosfato bicalcico	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,32
Fosfato tricalcico	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,02
Cloreto de potássio	KCl	340
Sulfato de potássio	K_2SO_4	111
Ureia	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	1080
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	754
Nitrato de amônio	NH_4NO_3	1183
MAP	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	227
DAP	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	689

Solubilidade de alguns compostos usados como fertilizantes

Os micronutrientes metálicos são fortemente adsorvidos no solo e tem mobilidade muito baixa.

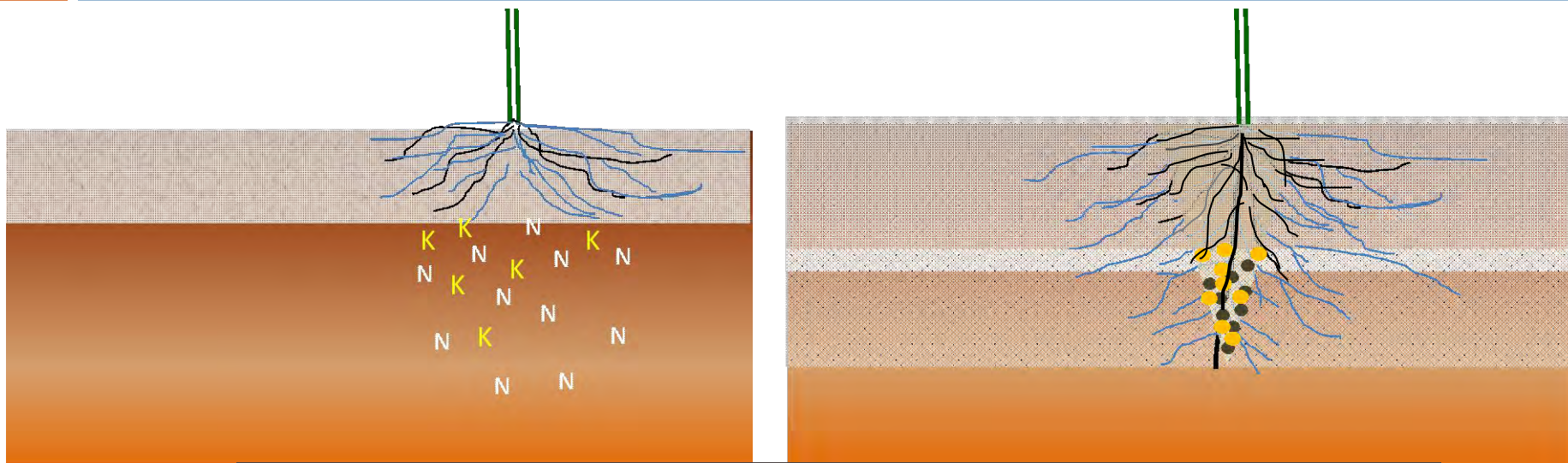
O boro apresenta pouca interação química no solo é é considerado móvel

Composto	Fórmula	Solubilidade em água (g/L)
Sulfato de zinco	ZnSO_4	538
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	320
Sulfato de manganês	MnSO_4	629
Ácido Bórico	H_3BO_3	64
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	20

Acidez do solo afeta eficiência de uso de nutrientes

- pH condiciona a disponibilidade dos íons no solo
 - Acidez natural de solos intemperizados no Brasil
 - Inclusive subsolo
 - Acidez provocada por fertilizantes e manejo
 - Culturas e variedades têm diferentes sensibilidades à acidez
- Corretivos têm lenta mobilidade no perfil
- É importante fazer correção na implantação para facilitar a incorporação de calcário
 - Calagens de manutenção nem sempre corrigem rapidamente a acidez em profundidade

Uso eficiente de nutrientes começa pela correção de acidez no maior volume de solo na implantação da cultura



Correção em subsuperfície:

Crescimento de raízes

Melhor aproveitamento da água e nutrientes

Culturas sensíveis e solos pobres:

Incorporação profunda de nutrientes (P, Zn, outros micronutrientes) e dose adicional de calcário

Eficiência de fertilizantes

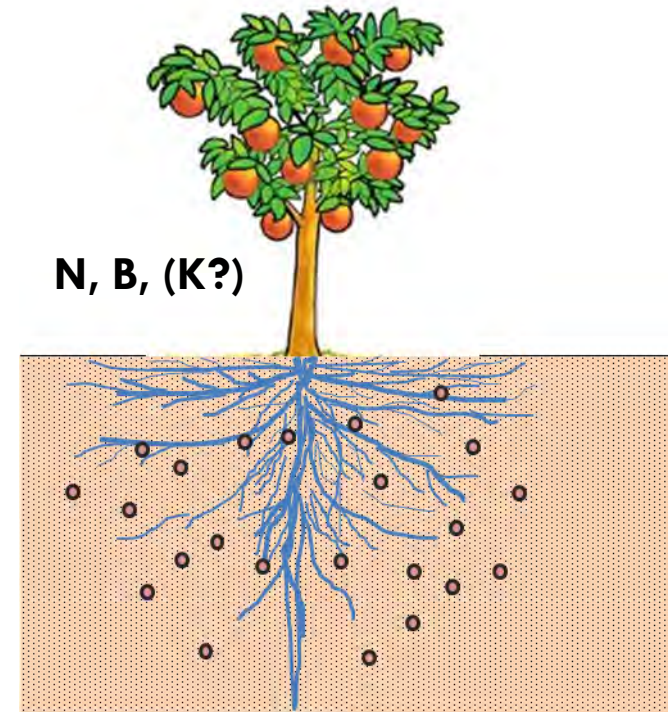
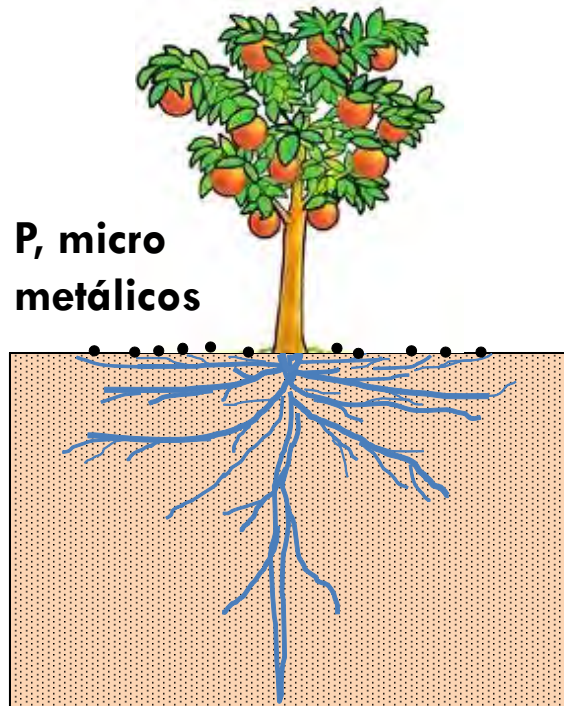
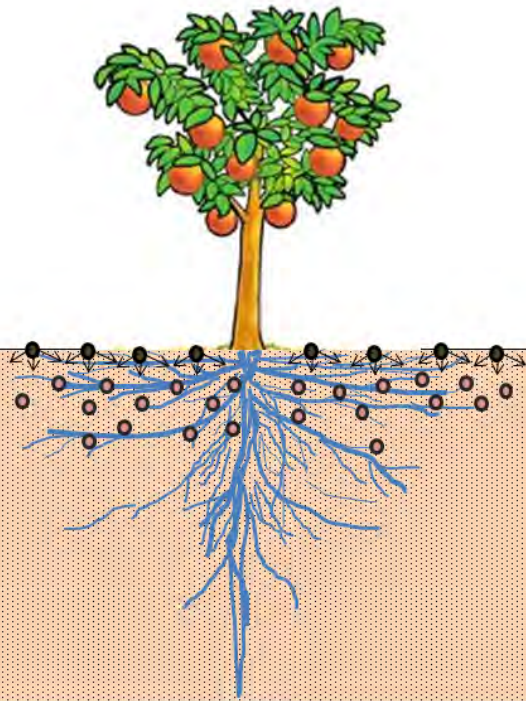
- Solubilidade e reação dos íons no solo são importantes para determinar método de aplicação
 - Solúveis & pequena interação química
 - Poucas limitações para método de aplicação
 - Solúveis & forte interação com o solo
 - Aplicação superficial com restrições
 - Insolúveis
 - Aplicação superficial com restrições
 - Sujeitos a volatilização:
 - Incorporação; aditivos

Uso eficiente de fertilizantes: disponível no local e época certas

Condição ideal

Fontes insolúveis ou com alta interação com o solo: superfície = eficiência reduzida

Fontes solúveis; dose excessiva; época inadequada; solo com baixa retenção de íons



BPM: boas práticas de manejo de fertilizantes

Aproveitamento médio de nutrientes ???

N: 60%

P: 30%

K: 70%

Teoria do **4-C**

Fertilizante **certo**

Dose **certa**

Local **certo**

Época **certa**

Debate promovido pelo IPNI



Nutrientes e impacto ambiental

- Impacto positivo: produção agrícola
- Impacto ambiental negativo:
 - ▣ Nutrientes em excesso no ecossistema
 - Metais pesados, desequilíbrio nutricional etc
 - ▣ Nutrientes transportados para fora do ecossistema
 - Problemas principalmente com N e P

Nutrientes & ambiente



Eutroficação e hipoxia:

Golfo do México

Inglaterra

China

Fertilizantes nitrogenados e fosfatados

Baixa eficiência:

Sujeitos a perdas por lixiviação, volatilização etc.

Excesso no ambiente = potencial poluidor



Fertilizantes e gases de efeito estufa

- N: alto consumo de energia na fabricação (53 MJ/kg N; 1,400 m³/t NH₃) e alto impacto ambiental devido à emissão de N₂O no campo
 - ▣ 3.2 + 5.1 = 8.3 kg CO₂eq/kg N
- Agricultura: 80% do N₂O (antropogênica)
- Fertilizantes: 18% dos GEE da agricultura e 2,5% dos GEE (antropogênica) totais.

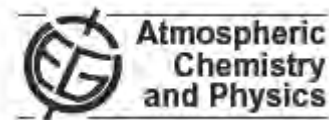


Agricultura (adubação) no foco da discussão de GEE

N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels

P. J. Crutzen^{1,2,3}, A. R. Mosier⁴, K. A. Smith⁵, and W. Winiwarter^{3,6}

¹Max Planck Institute for Chemistry, Department of Atmospheric Chemistry, Mainz, Germany



Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century

A. R. Ravishankara,* John S. Daniel, Robert W. Portmann

Science **326**, 123 (2009);

New Zealand's Fifth National Communication

UNDER THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE
Including the Report on the Global Climate Observing System

Our Nutrient World

ISBN: 978-1-906698-40-9

© Centre for Ecology and Hydrology, 2013.

The report is available on-line at the following locations:

www.unep.org

www.gpa.unep.org/gprm.html

www.initrogen.org

www.scopenvironment.org

www.igbp.net/publications

Sutton et al, 2013

The challenge to produce more food and energy with less pollution

- Around 2% of world energy use is dedicated specifically to the industrial manufacture of N_r , mainly through the Haber-Bosch process, so that N_r prices are closely coupled to global energy prices.

An illustration of projected achievable gains is shown in Figure ES5. Globally, a target for 2020 to achieve a relative improvement in full-chain nutrient use efficiency by 20% would deliver an estimated saving of 20 million tonnes of N_r . Based on initial estimates, this would equate to a global improvement in human health, climate and biodiversity of the order of \$170 (50-400) billion per year (Chapter 8).

Europe targets reducing the carbon footprint of fruit juice

by ClickGreen staff. Published Tue 19 Apr 2011 14:23

The European Parliament is looking at ways to tighten up the regulations on fruit juice to reduce the carbon footprint of imported drinks and improve its health benefits.

Consumption of fruit juice in the EU has nearly doubled over the past two decades, mostly due its perceived benefits to health.

Parlamento Europeu examina proposta para fortalecer o consumo de produtos locais... Entre as razões está diminuir a pegada de C

More than 80% of all orange juice consumed in Europe comes from Brazil and the USA, with shipments to the EU alone accounting for some two thirds of worldwide exports. This, in turn has at least one negative side-effect: the carbon footprint of all those oranges, as underlined in a report by Spanish Socialist MEP, Andres Perello Rodriguez.

A new proposal being examined in Parliament, seeks to strengthen the consumption of local products. The advantages are many, from a far lower carbon footprint to better oversight of the implementation of EU labour standards and food safety rules.

80% of European orange juice is imported from Brazil & USA



Rotulação de pegada de C de suco de laranja



Our detailed carbon targets

- To halve the emissions per square foot from our stores and distribution centres by 2020 compared to 2006
- To reduce our distribution emissions per case of goods delivered by 25% by 2020 compared to 2011
- To reduce the emissions of the products in our supply chain by 30% by 2020 compared to 2008
- To help our customers to find ways to halve their carbon footprint by 2020

Reducing our impact on the environment



Aiming to be a zero-carbon business by 2050 and to use scarce resources responsibly, including in our supply chain



IPNI BPUF - Citros (Cantarella) 10-2013

Helen Fleming
Sustainability Director

Carbon footprint of Tropicana Pure Premium orange juice

One half gallon Tropicana not-from-concentrate orange juice

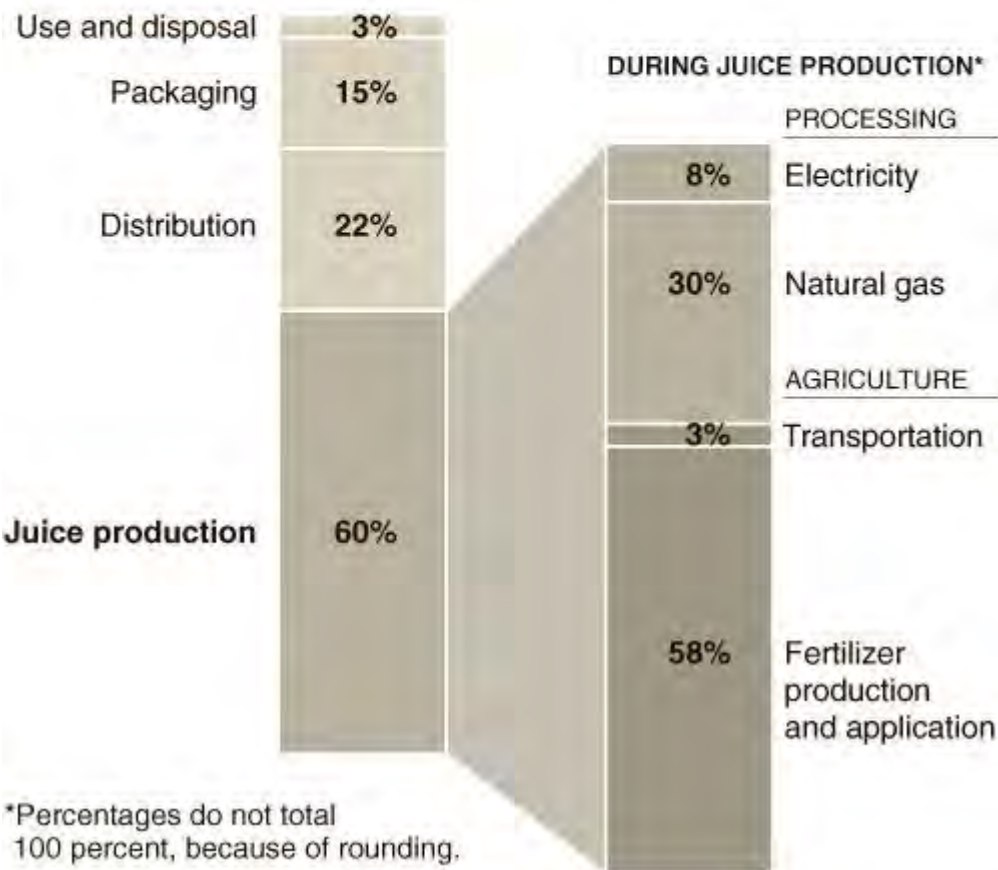
=

3.75 pounds (1.7 kg) carbon dioxide equivalent

Fertilizantes & pegada de C em citros

Sources of carbon dioxide emissions

THROUGHOUT PRODUCT LIFE CYCLE



*Percentages do not total 100 percent, because of rounding.

©The New York Times

Tropicana Orange Juice Carbon Lifecycle



Source: PepsiCo

Eficiência de uso de Nutrientes em citros:

Fósforo

Solos brasileiros são ricos em óxidos de ferro e alumínio

- Reações de P com Ca, Fe ou Al determinam, em grande parte, a biodisponibilidade de P

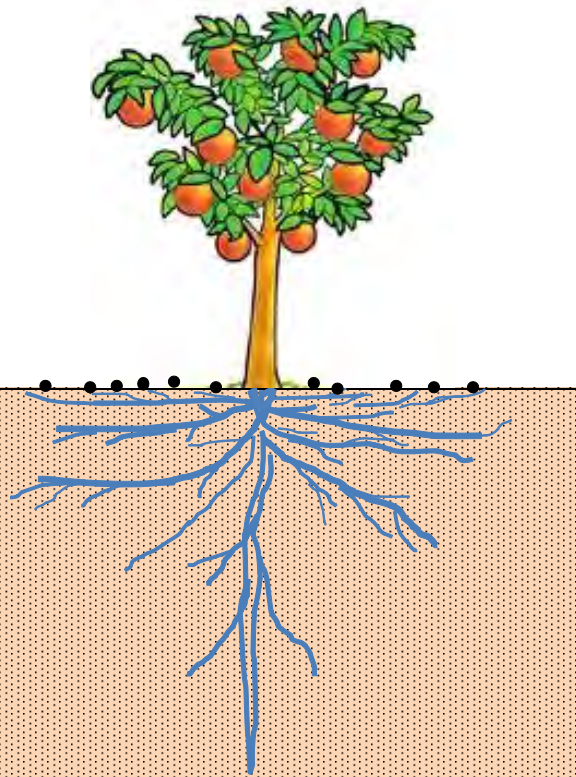
pH ácido:	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Controlada por Al e Fe	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
pH alcalino:	CaHPO_4
Controlada por Ca	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
	$\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$
	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
	$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$
Maior disponibilidade:	pH 5,5 a 6,8 (água)
	pH 5,0 – 6,2 (CaCl_2)

Solubilidade dos principais fertilizantes fosfatados

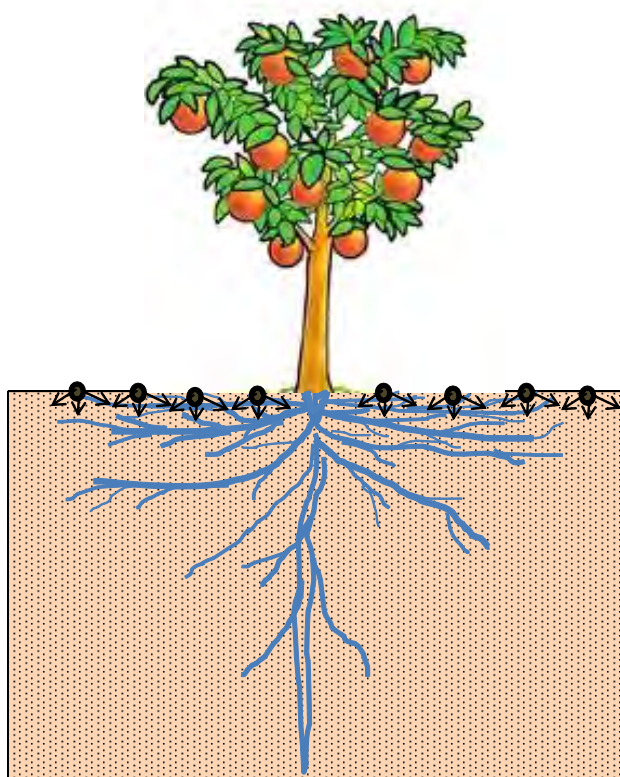
Fertilizante	Total	Ácido Cítrico	Citrato de amônio+ H ₂ O	H ₂ O	Observações
	----- % -----				
Super simples	20			18	10 a 12% de S
Super triplo	45			40	
MAP				50	10% de N
DAP				40	20% de N
Fosfato natural	24	2			
Hiperfosfato em pó	30	12			
Termofosfato	17	14			
Parcial. acidulado	20	11	9	5	

Fontes de P & Modo de Aplicação em Culturas Perenes

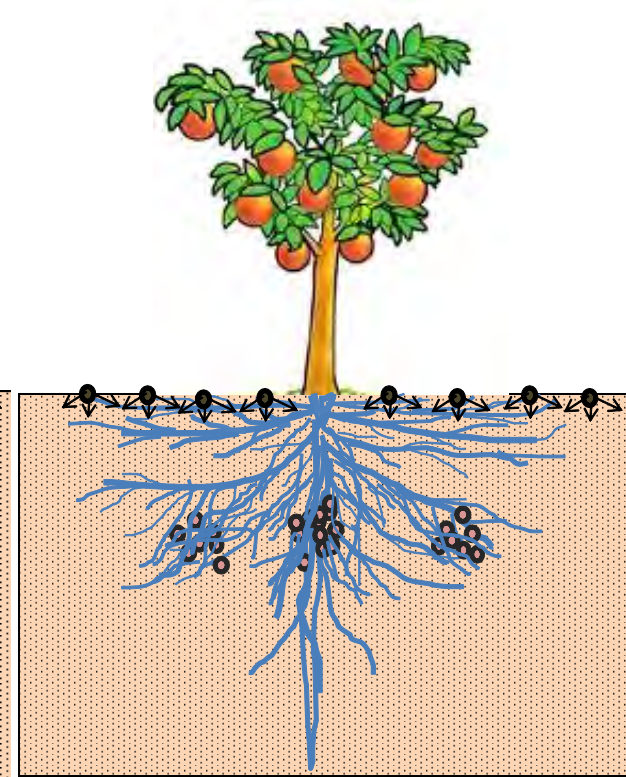
**Fonte de baixa solubilidade;
interação com solo; pH: baixo
aproveitamento na superfície**



**P solúvel; raízes superficiais
absorvem P**



**P solúvel para manutenção; P
incorporado no plantio: + raízes
em profundidade**

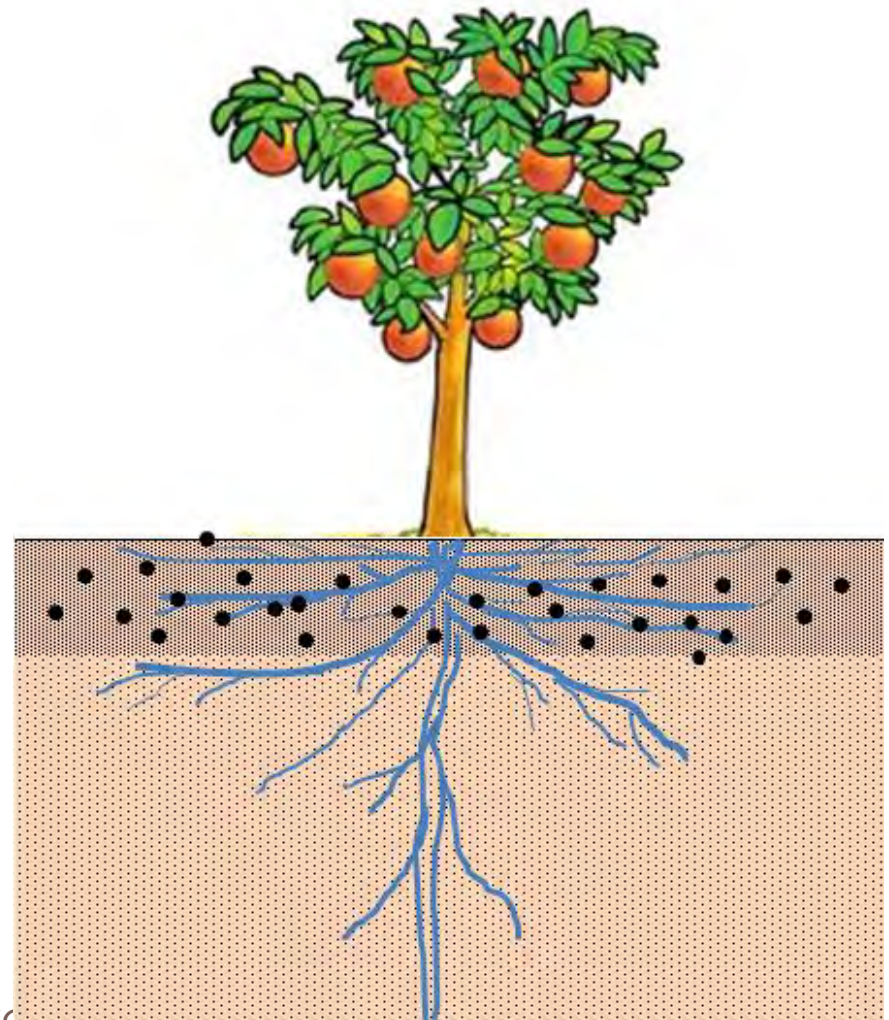


Fosfatos de baixa solubilidade (natural, natural reativo, termo)

Fosfatos insolúveis dependem da reação com o solo (acidez) para disponibilizar o P para as plantas:

Mais eficientes com granulometria fina e incorporados ao solo

Em culturas perenes isso é viável na implantação do pomar



Nitrogênio

- ❖ Fertilizantes com alta solubilidade
- ❖ Sujeitos a perdas por vários processos
- ❖ Manejo merece cuidado especial

Fertilizante	Forma do N	Concentração	Outros nutrientes
		% N	%
Ureia	amídica	45	
Nitrato de amônio	50% NH ₄ , 50% NO ₃	32	
Sulfato de amônio	NH ₄	20	21% S
URAN	50% amídica, 25% NH ₄ , 25% NO ₃	28	
Nitrato de potássio	NO ₃	13	44% K ₂ O
Nitrato de cálcio	NO ₃	15	19% Ca
MAP	NH ₄	9	48% P ₂ O ₅

Nitrificação



Nitrosomonas



Nitrobacter

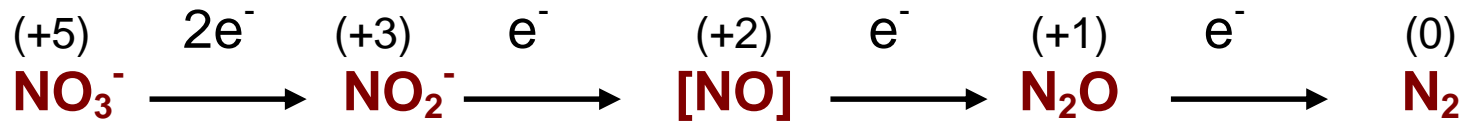
Meio aeróbico

Reação acidificante

Nitrito geralmente não se acumula no solo (exceto alto pH)

Nitrato é muito móvel no solo (lixiviação)

Desnitrificação



Condição anaeróbica

Microrganismos quimoheterotróficos (usam C como fonte de energia e nitrato (nitrito) como receptores de elétrons)

Perdas: 10 a 20% do N ??????

Parte do N perdido como N₂O

O ₂	0,33
NO ₃ ⁻	0,22
Mn (IV)	0,20
Fe(III)	0,12

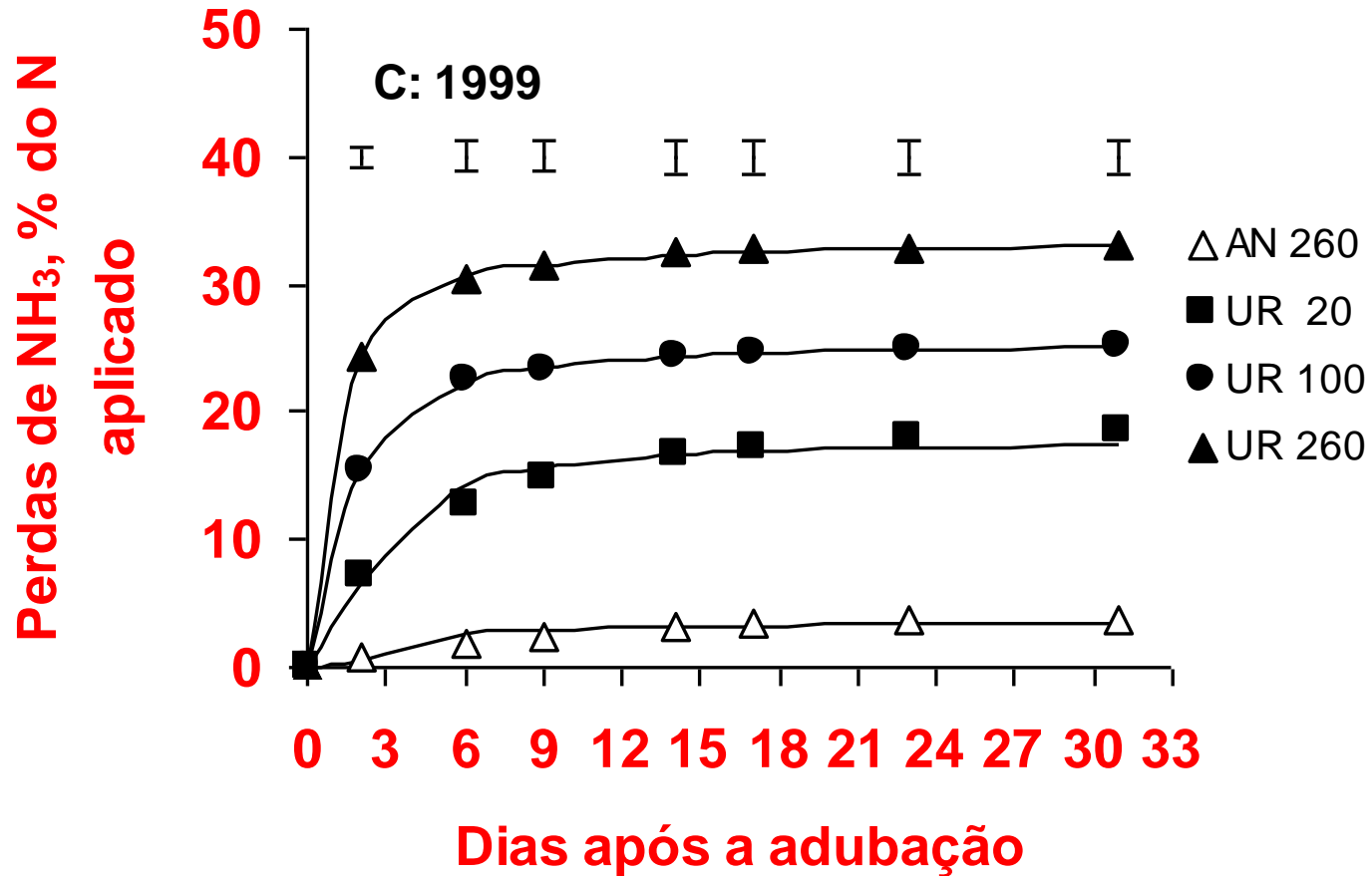
Fertilizante: ureia

- **Principal adubo sólido no mercado mundial**
 - **46% N**
 - **Síntese: $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$**
 - **Preço N: $\text{UR} < \text{NA} < \text{SA}$**
- **NA: restrições crescentes à produção, transporte e estocagem**

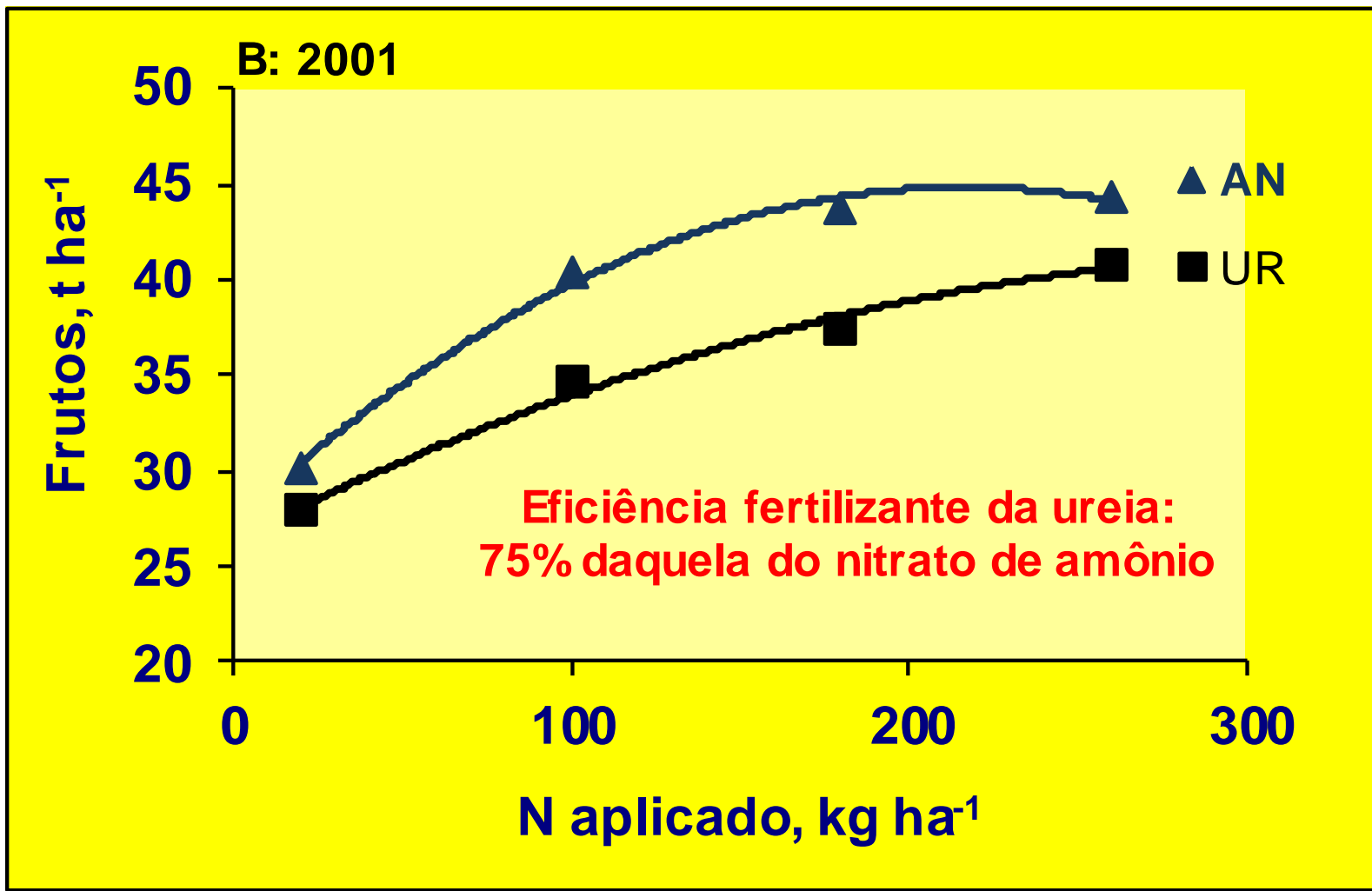


IPNI BPUF - Citros (Cantarella) 10-2013

Volatilização de amônia em pomar de citros (Ano 3)



Produção de laranja x fonte de N



Fonte: Cantarella et al., 2003

Absorção foliar de NH_3 volatilizada

Pomar de laranja Natal com 6 anos.

Espaçamento: 6,0 x 2,7 m

Adubo (UR) marcado com ^{15}N , sem contato com o solo. Dose: $\sim 80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N



Árvores cortadas e analisadas após 21 dias

Absorção foliar: 3 a 7% da NH_3 volatilizada recuperada

Boaretto et al., 2012



Emissão de GEE em citros no Brasil

Laranja fertirrigada por 11 anos; Branco Peres (Reginópolis)



Câmaras posicionadas sob e entre os gotejadores

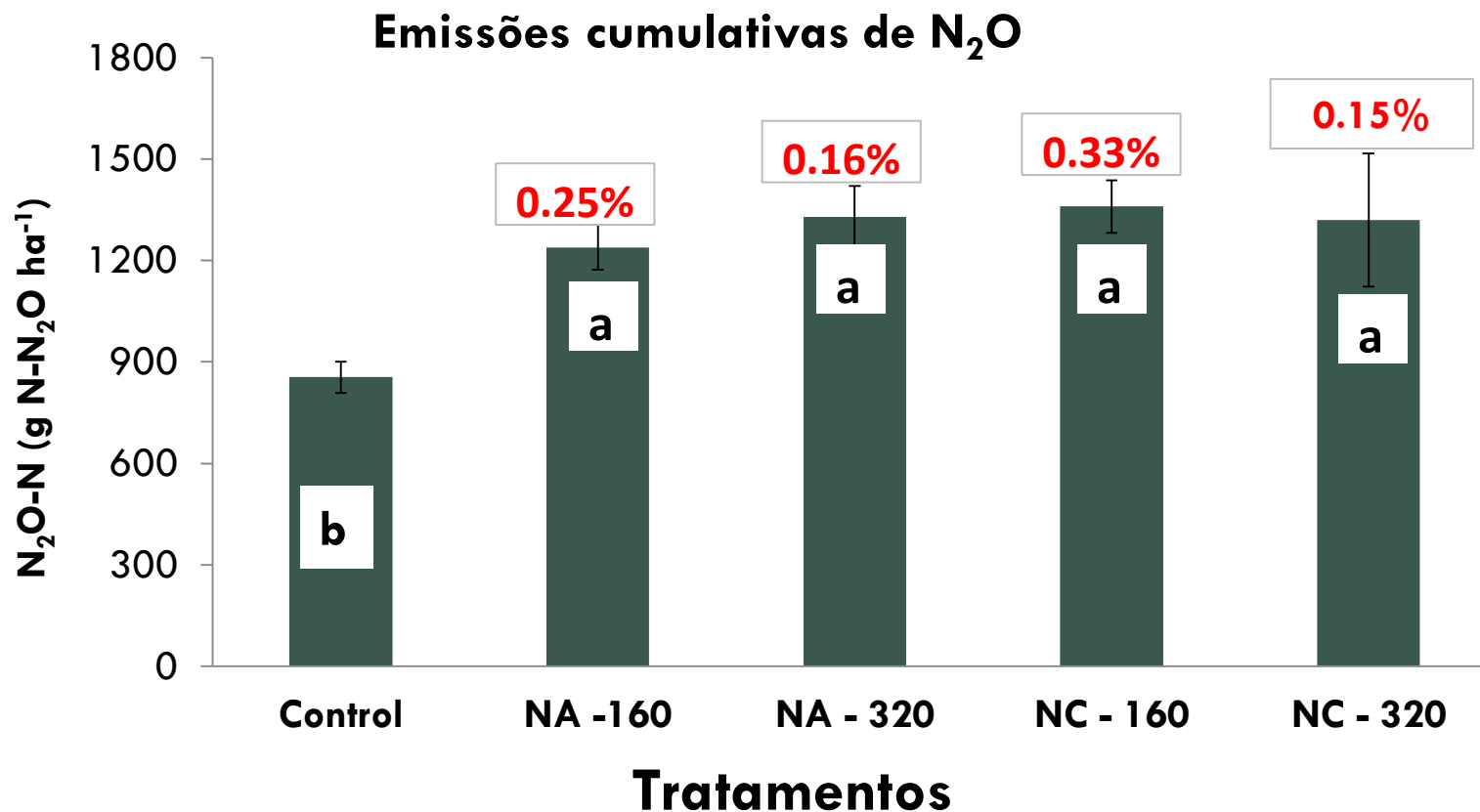


Câmaras entre linhas:
testemunhas

Fluxos cumulativos de N₂O-N

Martins, AA (2013)

Área total:
Gotejador = 9%;
Entre gotej = 34%;
Entre linhas = 57 %



IPCC = 1% Nossos dados experimentais = média 0.22%

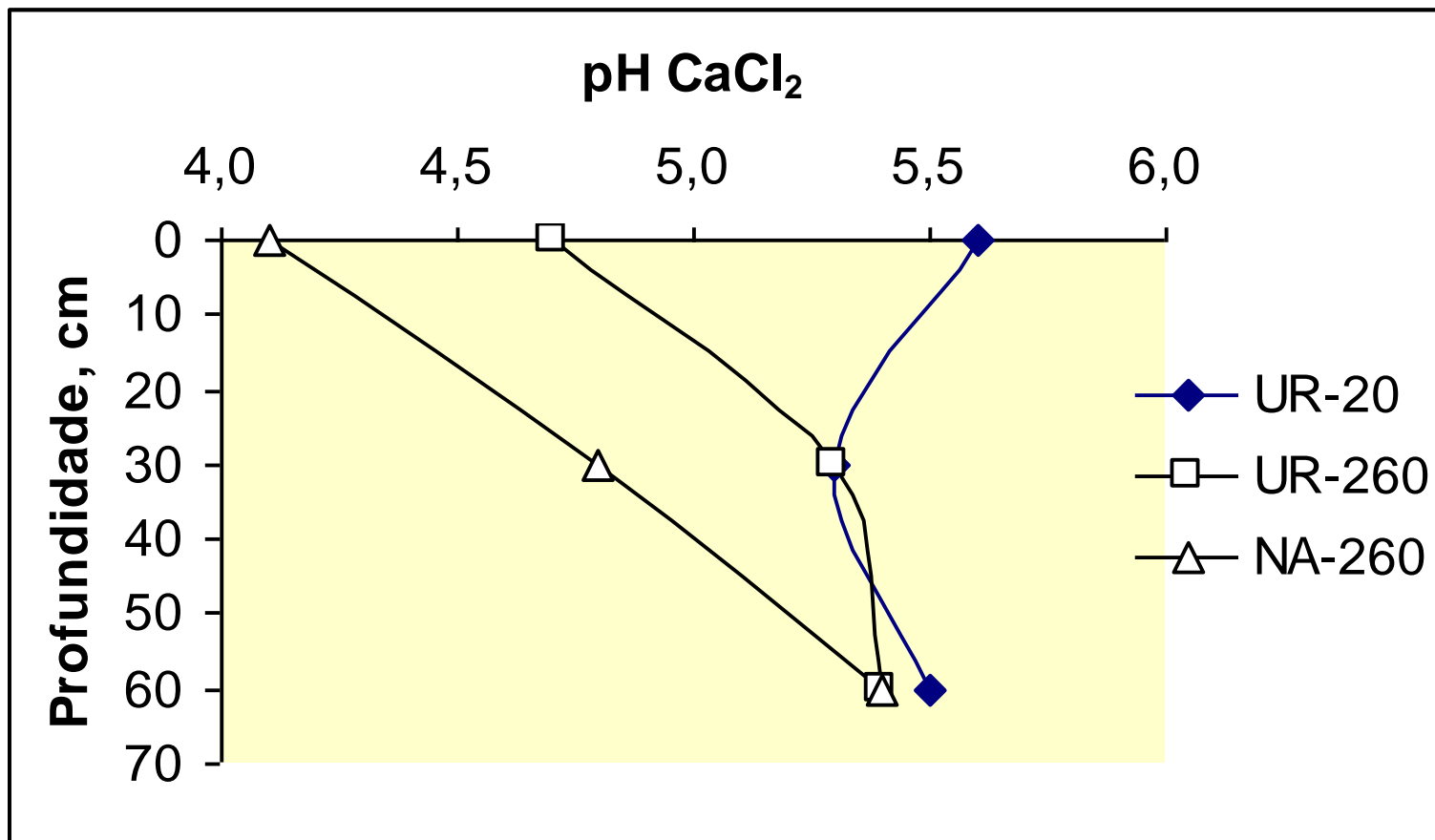
Acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Forma do N	Equivalente CaCO ₃	
		por kg de N	por t do produto
Ureia	amídica	-1,80	-790
Nitrato de amônio	50% NH ₄ , 50% NO ₃	-1,80	-580
Sulfato de amônio	NH ₄	-5,35	-1070
MAP	NH ₄	-5,00	-450
Nitrocálcio	50% NH ₄ , 50% NO ₃	0	0
Nitrato de potássio	NO ₃	+2,00	+260
Nitrato de cálcio	NO ₃	+1,35	+190

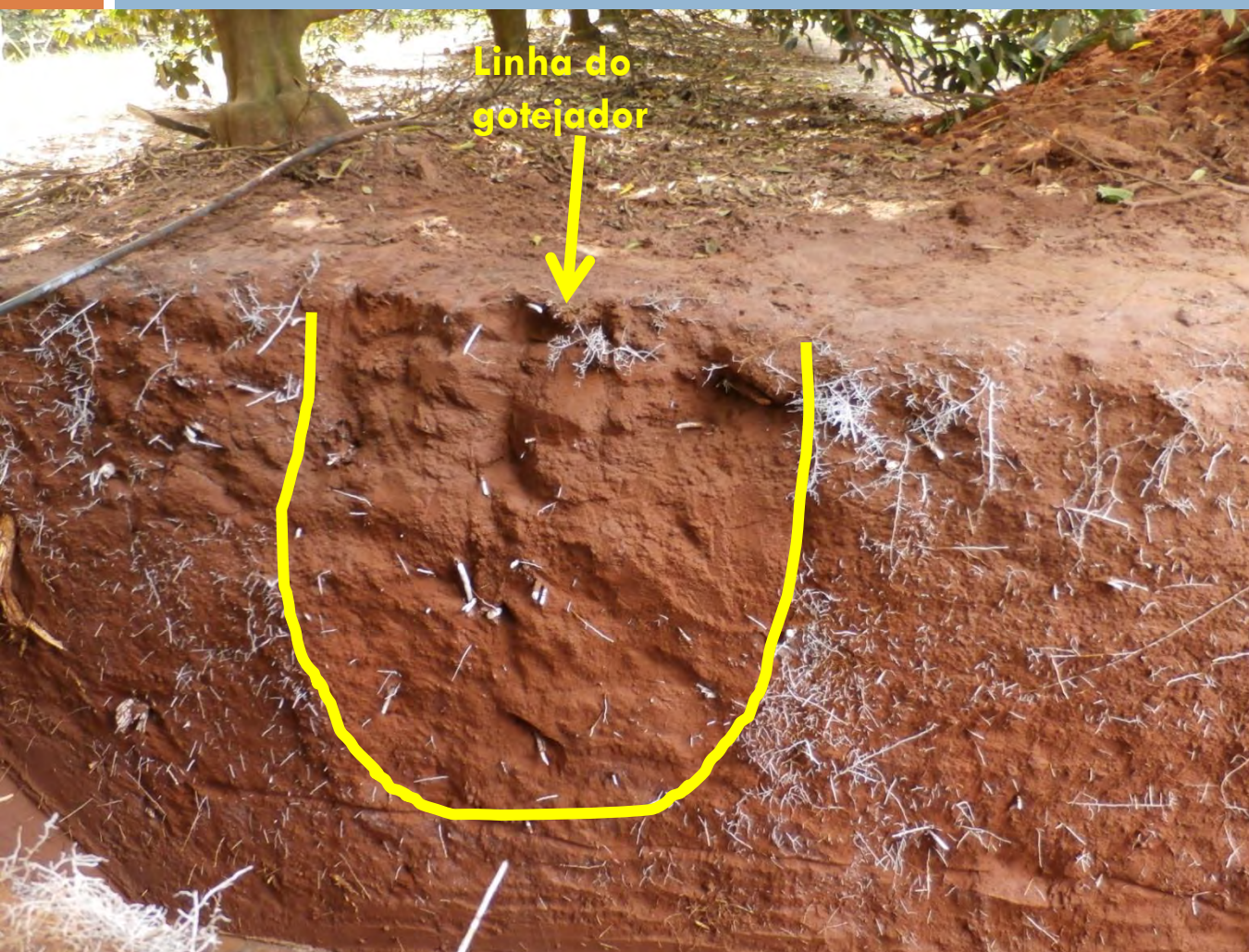
Fontes: Raij et al (1997); IFDC (1979)

Acidificação do solo após 5 anos:

pH na faixa adubada do pomar



Perfil de solo (Argissolo) cultivado com laranja (Reginópolis, SP): nitrato de amônio



**Bulbo acidificado
por fertilizante
nitrogenado:
irrigação é feita em
local sem raízes**

Perfil de solo (Argissolo) cultivado com laranja (Reginópolis, SP): nitrato de cálcio

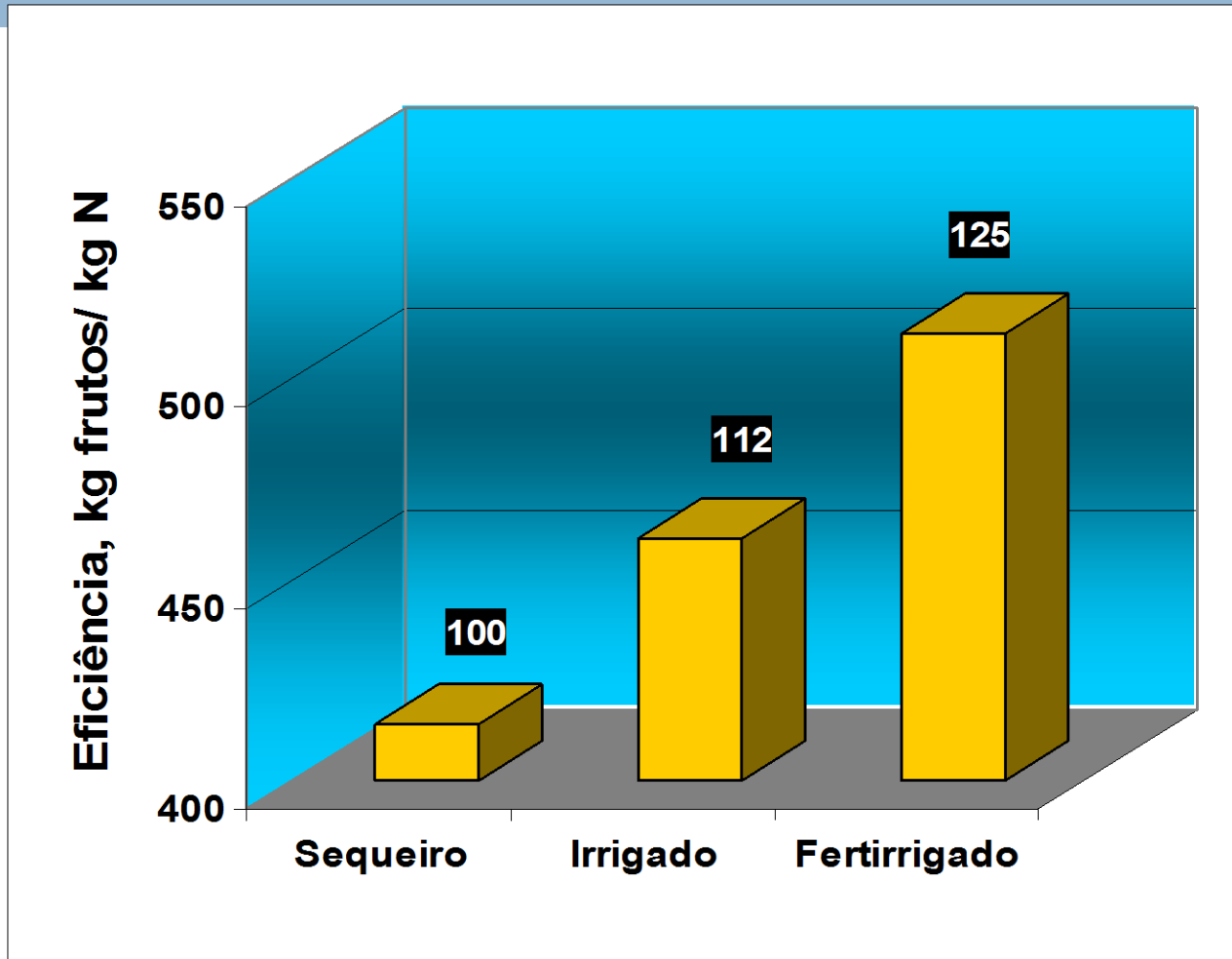


Sistema radicular abundante e bem distribuído, sem acidificação na linha do gotejador

Fertilizante + água

- **Fertirrigação normalmente aumenta a eficiência de uso de nutrientes**
 - **Menor estresse por falta de água**
 - **Fertilizante localizado na zona de maior densidade radicular**
 - **Parcelamento**

Eficiência fertilizante com irrigação e fertirrigação em citros: média de 5 anos



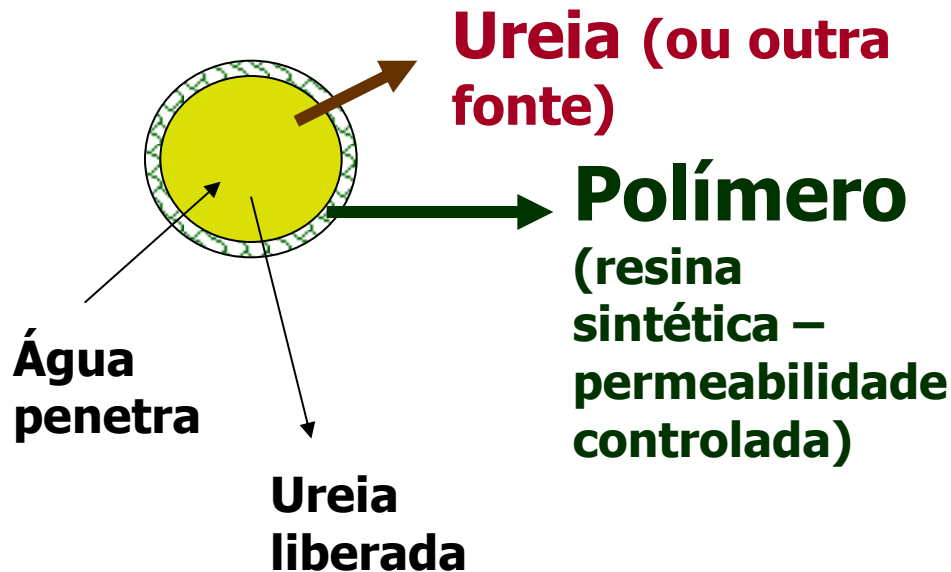
Medidas para reduzir perdas de N:

Fontes alternativas

- **“Fertilizantes de Eficiência Aumentada*”**
 - ▣ A) Fertilizantes de liberação lenta ou controlada
 - Recobertos, encapsulados, baixa solubilidade etc.
 - ▣ B) Fertilizantes estabilizados
 - Contêm aditivos ou inibidores

*Enhanced efficiency fertilizers (EEF)

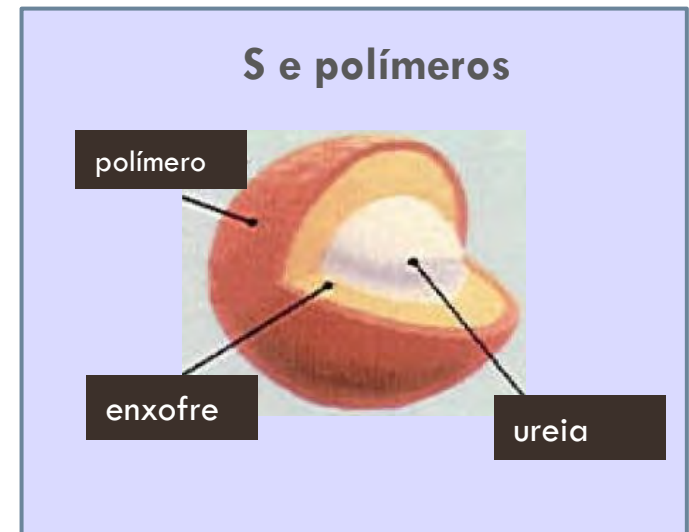
Fertilizantes nitrogenados de liberação controlada – Coberturas com polímeros



Liberação é controlada pela composição ou espessura do recobrimento:
Ex. 80% liberado em 30 dias, 90 dias etc

Vários produtos, com diferentes tecnologias de produção da cobertura

Osmocote; Meister, Producote, Nutricote;



Liberação controlada de nutrientes em fertilizantes recobertos com polímeros

Temperatura média do solo	3 M	6 M	9 M	12 M
	Tempo médio para liberação (meses)			
15 °C	4 a 5	6 a 7	9 a 10	13 a 14
21 °C	3 a 4	5 a 6	8 a 9	11 a 12
27 °C	2 a 3	4 a 5	7 a 8	10 a 11

Prazo para liberação dos nutrientes controlado pelas características do material de cobertura e pela temperatura do solo

Fertilizantes de liberação lenta ou controlada:

- Muitos resultados positivos na literatura
 - ▣ Aumento da EUN
 - ▣ Dispensa parcelamentos
- Às vezes a liberação do N não é a pretendida: resultados desfavoráveis ou iguais às fontes solúveis
 - ▣ Falhas no recobrimento
 - ▣ Condições solo/clima não favorecem liberação/dissolução: liberação do N antes ou depois do pretendido

Relação de preços de fertilizantes LL/C

SCU – PCSCU	2:1
UF	3 a 5:1
Polímeros	4 a 8:1

Custo do polímero: 10 a 30 vezes o custo do fertilizante
Indústrias trabalham para reduzir custo de fertilizantes LL/C
Mercado pequeno mas em grande crescimento

LL/C: 0,19% do mercado do convencional (EUA ~1,1%)

China (2006/07): 1 Mt de capacidade (SCU/PCSCU)

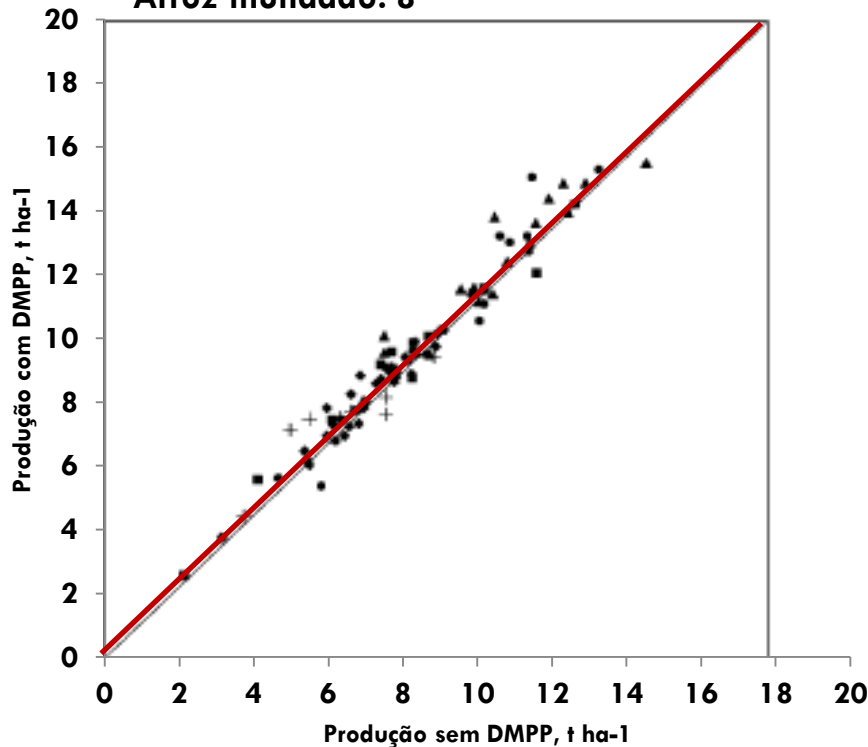
Incluindo China: 0,47% do consumo de fertilizantes minerais

Fertilizantes Estabilizados

- Inibidores de nitrificação
- Inibidores de urease

Inibidor de nitrificação (DMPP): 86 experimentos

Trigo inverno: 28 Milho: 14
Batata: 21 Beterraba: 15
Arroz inundado: 8



Na maioria dos ensaios a produção com o inibidor foi mais elevada:

Ganhos (t ha⁻¹):

Trigo: + 0,25

Milho: + 0,24

Batata: + 1,6

Beterraba: + 0,24

Arroz: +0,29

Movimentação de N inorgânico em pomar de citros (camada 20 to 60 cm) após 5 anos de adubação nitrogenada

Fonte de N	Dose	Data de amostragem			
		4/1997	10/1998	4/1999	8/2000
kg/ha N		kg/ha N-(NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻)			
Uréia	20	26	24	23	35
	100	18	22	18	32
	180	32	34	24	59
	260	32	32	24	50
Nitrato de amônio	20	20	26	21	32
	100	30	37	22	56
	180	79	40	20	83
	260	59	79	22	63

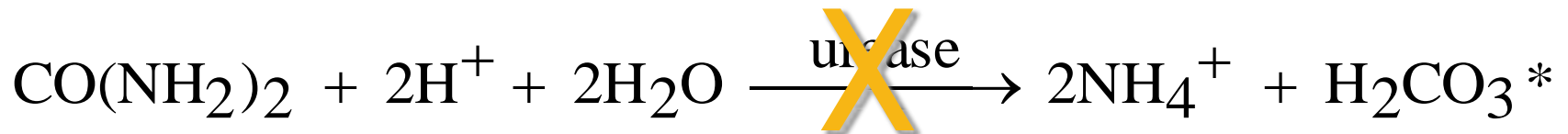
Fonte: Cantarella et al., 2003

Inibidores de nitrificação: resumo

- Efeitos positivos em apenas parte dos experimentos
- Potencial em solos leves e com riscos de lixiviação
- Nem sempre são substitutos para bom manejo mas, oferecem flexibilidade para alternativas de manejo (antecipação de aplicação, redução de parcelamentos)
- Inibidores de nitrificação geralmente também reduzem emissão de N_2O – mas é questionável se isso pode promover o uso de tais produtos

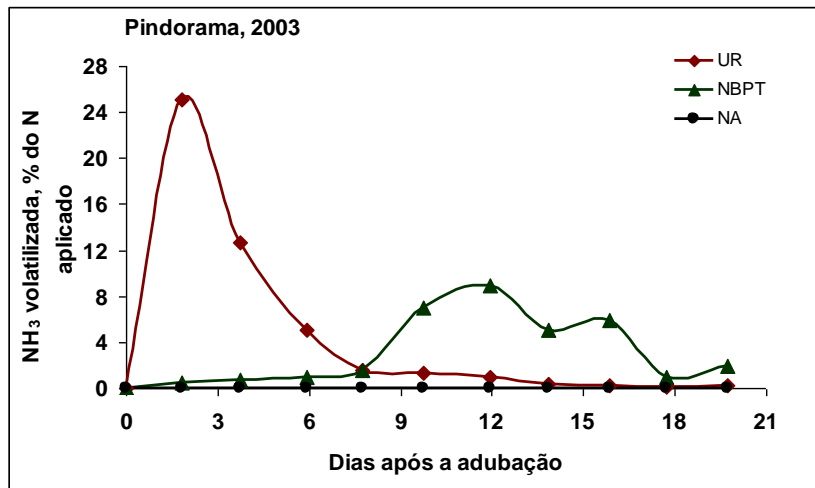
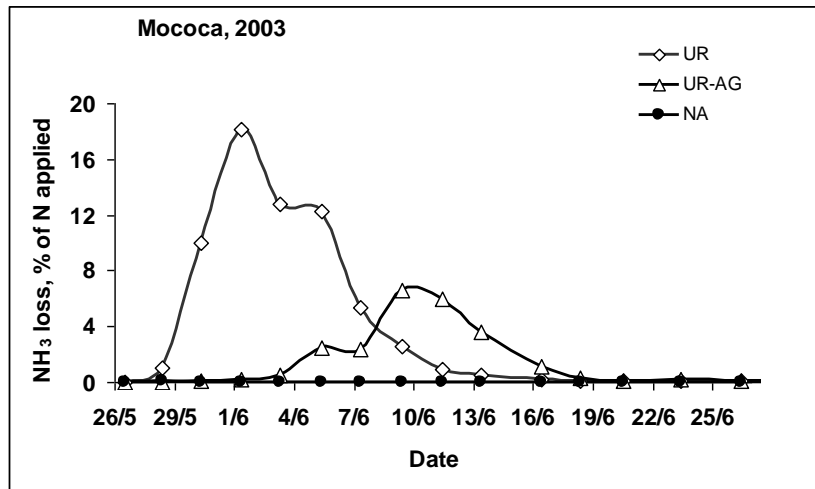
Inibidores de urease

- Literatura: > 14.000 compostos ou misturas testadas como inibidor de urease de solos (Kiss & Simihaian, 2002)



- **NBPT**: no mercado desde 1996 (20 a 25% de NBPT + solvente)
- Há interesse no produto no Brasil
 - ▣ Ureia cerca de 60% do mercado de N
 - ▣ Predominam aplicações superficiais
 - ▣ Altas perdas de NH_3 relatadas em campo

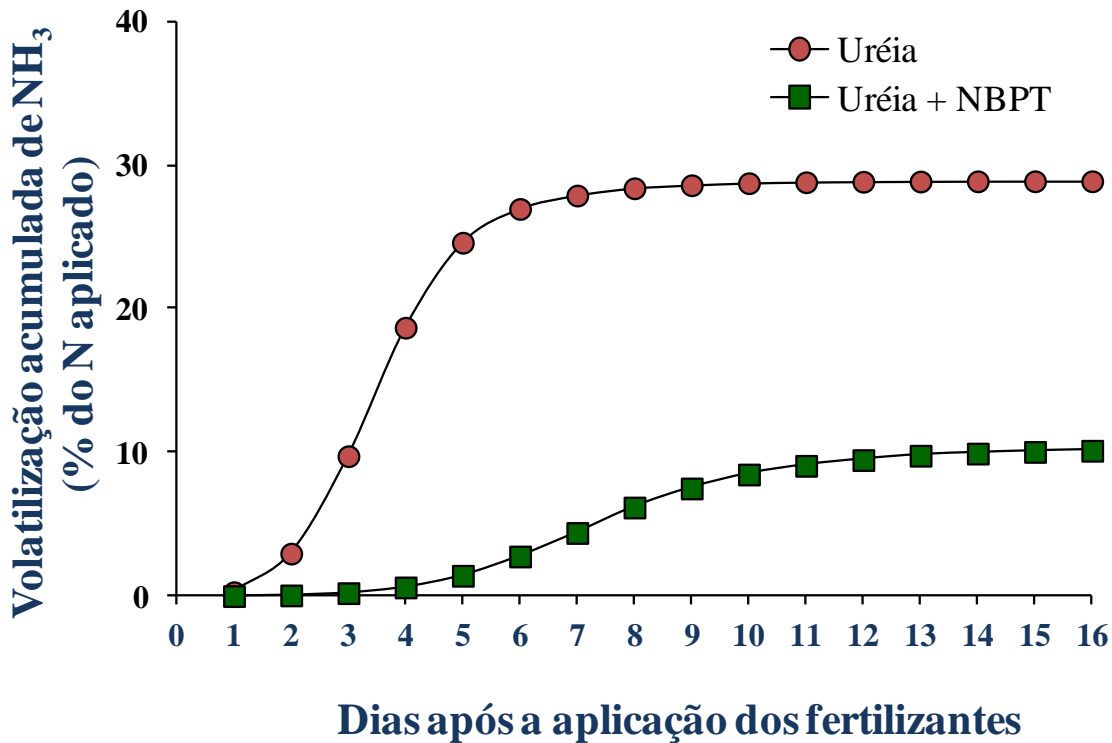
Fundamento para ação dos inibidores de urease



- Retardar hidrólise de ureia e reduzir perdas de NH₃
- Estabilidade: 3 a 15 dias (T, umidade):
 - Brasil: 3 a 7 dias
- NBPT reduz e atrasa o pico de hidrólise em relação ao da ureia sem inibidor.
- Em temperaturas mais baixas o efeito do NBPT é mais duradouro.

Dados: Cantarella et al., 2005

Inibidores de urease



Perdas de NH₃ em campo. Brasil

Cultura/Local	Volatilização de NH ₃ (Percentagem de redução comparado à uréia)	
	UR	UR-NBPT
	----- % do N aplicado -----	
Milho Mococa	45	24 (47)
Milho Rib. Preto	37	5 (85)
Milho Mococa	64	22 (65)
Milho e Pindorama	48	34 (29)
Pastagem 1	18	6 (69)
Pastagem 2	51	22 (56)
Pastagem 3	18	3 (83)
Pastagem 4	18	2 (89)
<i>Média</i>	<i>37</i>	<i>15 (60)</i>

NBPT:

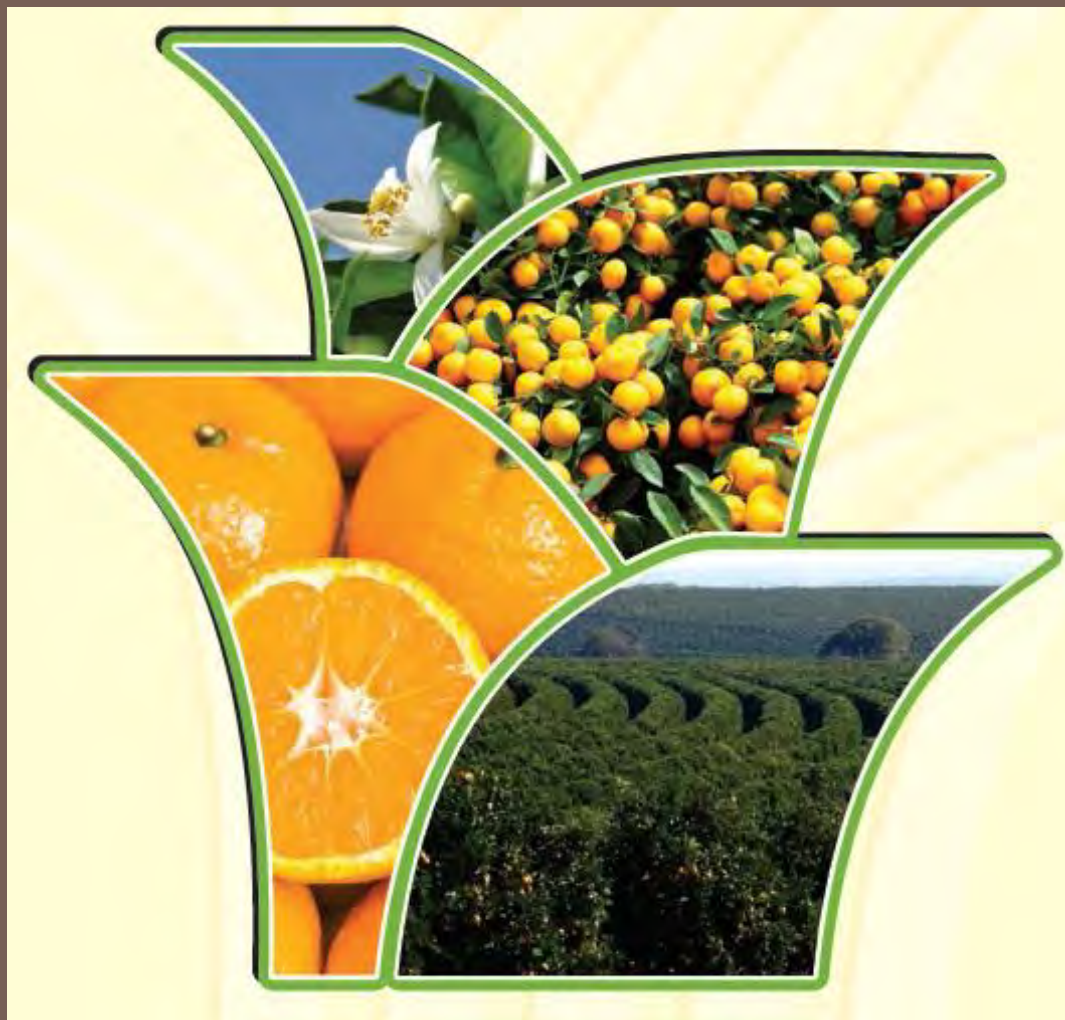
- **O NBPT não elimina mas reduz as perdas de NH_3 permitindo o aumento da eficiência de uso da uréia**
- **Eficiência depende de condições ambientais**
- **Quanto maior o risco de perdas de NH_3 , maior pode ser o benefício do uso do inibidor**

Fertilizantes “Protegidos”

- Muitos produtos no mercado não entregam o que prometem
- Redução de doses
 - ▣ Justificar produtos mais caros
 - ▣ Nem sempre o ganho em eficiência paga o preço adicional

Conclusões

- **Aumentar a eficiência de uso de nutrientes tem benefícios econômicos e ambientais**
- **Há múltiplas estratégias para tal**
 - ▣ **Empregar estratégias conhecidas e comprovadas (4-C)**
 - ▣ **Cuidar da reação do solo (não só da superfície)**
 - ▣ **Levar em conta características de espécies e variedades**
 - ▣ **Quando economicamente viável, fazer uso de fertilizantes que ajudem a controlar perdas e aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas**



MUITO OBRIGADO

Heitor Cantarella

cantarella@iac.sp.gov.br