



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO



LSO 360 - RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Impactos ambientais dos fertilizantes e sua mitigação

Prof. Dr. Rafael Otto

Piracicaba, SP
Agosto de 2017

INTRODUÇÃO

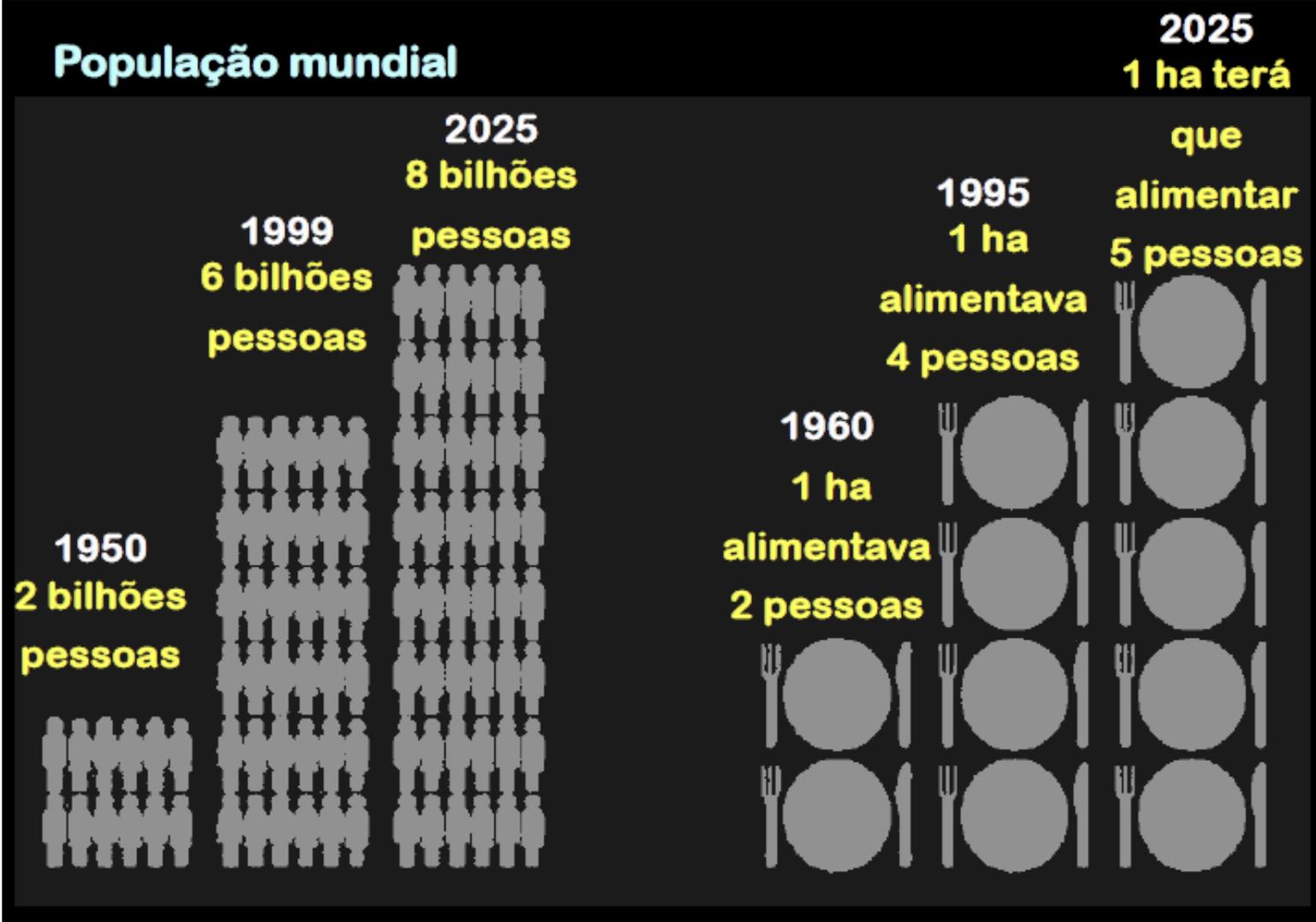
2050: 2 a 3 bilhões a mais de pessoas (70% nas cidades); renda per capita três vezes maior; consumindo duas vezes mais

É preciso reformar o sistema agroalimentar para:

- (i) aumentar a produção,**
- (ii) sem prejudicar a biodiversidade**

Fonte: Clay, J. (2011)- Nature

AGRICULTURA TERÁ QUE SER MAIS EFICIENTE



Fonte: Lahóz, A. Revista Exame, 918: 2008

TECNOLOGIAS QUE PERMITEM POUPAR O USO DA TERRA

1. **Melhoramento genético**
2. **Uso de corretivos e fertilizantes**
3. **Irrigação**
4. **Rotação de culturas**
5. **Intensidade de cultivos**
6. **Práticas agrícolas (plantio direto, conservação do solo, densidade de semearura, etc)**



Definição segundo MAPA

Fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes as plantas.

Fertilizantes minerais - Produto de natureza mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes as plantas

Definição segundo MAPA

Fertilizante orgânico - Produto de natureza orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais

Fertilizante organomineral - Produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos

**TODOS SÃO FERTILIZANTES QUÍMICOS!
PORTANTO, NUNCA USAR O TERMO FERTILIZANTE QUÍMICO QUANDO
REFERIR-SE A FERTILIZANTE MINERAL**

Funções dos Fertilizantes

- **Suplementar a disponibilidade natural do solo para satisfazer a demanda das culturas**
- **Compensar a perda de nutrientes decorrentes da remoção da culturas, por lixiviação ou perdas gasosas**
- **Melhorar as condições não favoráveis ou manter condições adequadas do solo para produção das culturas**

Fertilizantes

Três nutrientes são aplicados em maiores quantidades:

- **Nitrogênio (N)**
- **Fósforo (P_2O_5)**
- **Potássio (K_2O)**

Demais nutrientes também são aplicados:

- **Enxofre**
- **Cálcio**
- **Magnésio**
- **Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni)**

Conceito de Adubação

$$\text{Adubação} = (\text{Planta} - \text{Solo}) \times f$$



FERTILIZANTE



ABSORÇÃO

SOLO



CHUVA

VOLATILIZAÇÃO

N (NH₃)

DESNITRIFICAÇÃO

N₂, N₂O

FIXAÇÃO
Cu²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺,
Fe²⁺, H₂PO₄⁻

LIXIVIAÇÃO

Cl⁻ > H₃BO₃ > NO₃⁻ > SO₄⁼ > MoO₄⁼

K⁺ > NH₄⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺

EROSÃO

Todos os
nutrientes

Eficiência de aproveitamento dos nutrientes

Nutriente	Eficiência de aproveitamento	
	Amplitude	Media
Nitrogênio (N)	40-70	50%
Fósforo (P ₂ O ₅)	20 a 50	35%
Potássio (K ₂ O)	50 a 90%	70%

**É essencial utilizar os fertilizantes
adequadamente para evitar
problemas ambientais!**

FERTILIZANTES NITROGENADOS

SÍNTESE DE NH₃

- **1909 – Alemanha**
- **Idealizador: Fritz Haber**
- **Larga escala: Carl Bosch (BASF)**
- **Primeira Guerra Mundial**
- **Produção de explosivos (Nitrato de Sódio-Chile)**
- **Prêmio Nobel: Haber (1920) e Bosch (1931)**

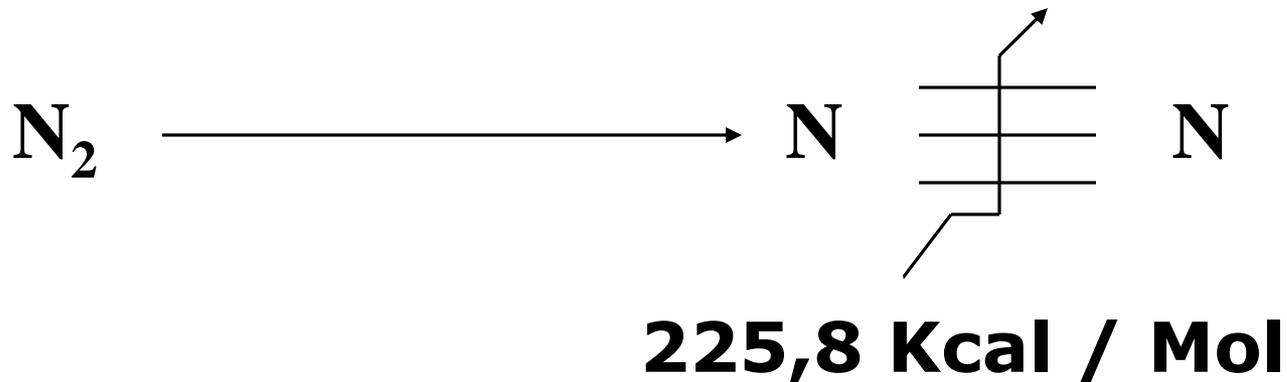
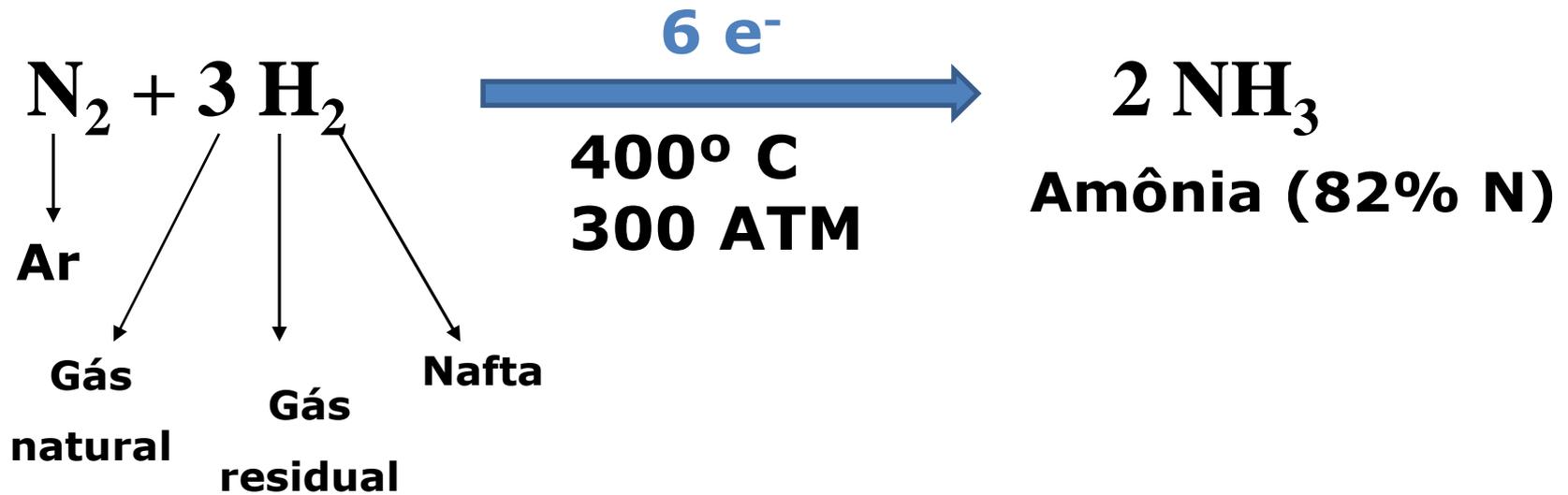


Early NH₃ plant at Oppau, Germany (1913)



Source: Smil (2001)

Processo Haber-Bosch



SÍNTESE DE NH₃



1909



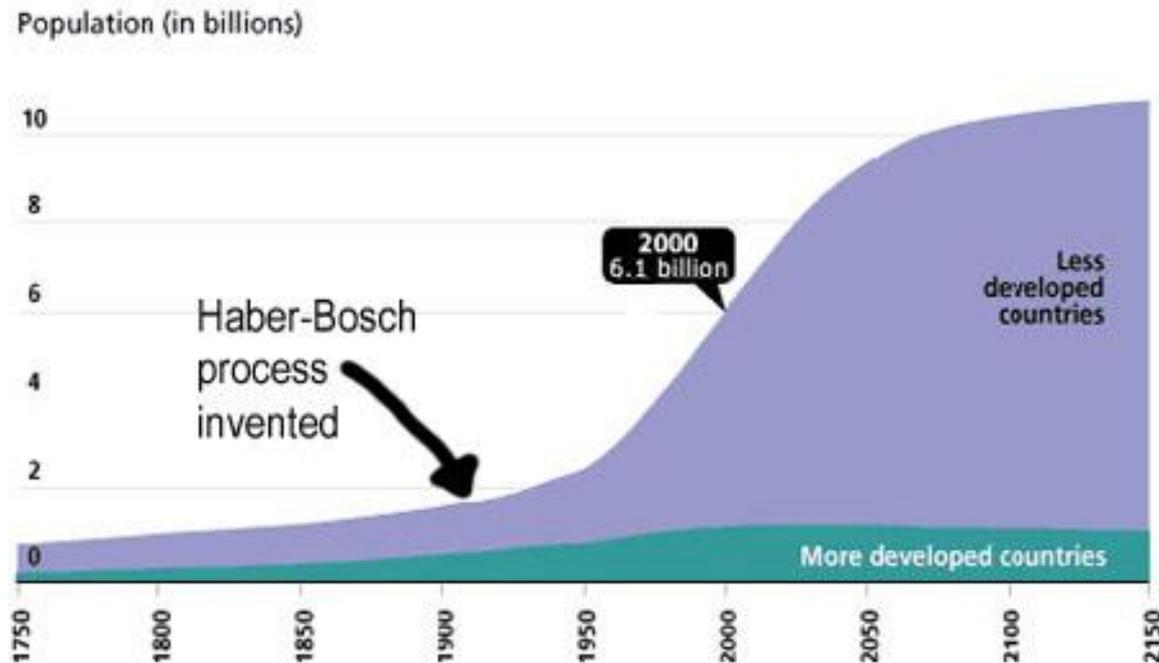
1921



2000

“A síntese industrial de amônia a partir do N_2 e H foi mais importante do que a invenção do avião, da energia nuclear, dos vôos espaciais e da televisão. A expansão da população mundial de 1,6 bilhões para os atuais 6 bilhões de pessoas não seria possível sem a síntese de amônia”

Fonte: Smil (2001) – Enriquecendo a terra



**POSSÍVEIS IMPACOS AMBIENTAIS
RELACIONADOS AOS FERTILIZANTES
NITROGENADOS**

China

38 kg N ha⁻¹ – 1975

262 kg N ha⁻¹ - 2001



Scientists urge Chinese farmers to use fertilizer better

Feb 17, 2009 | By David Biello



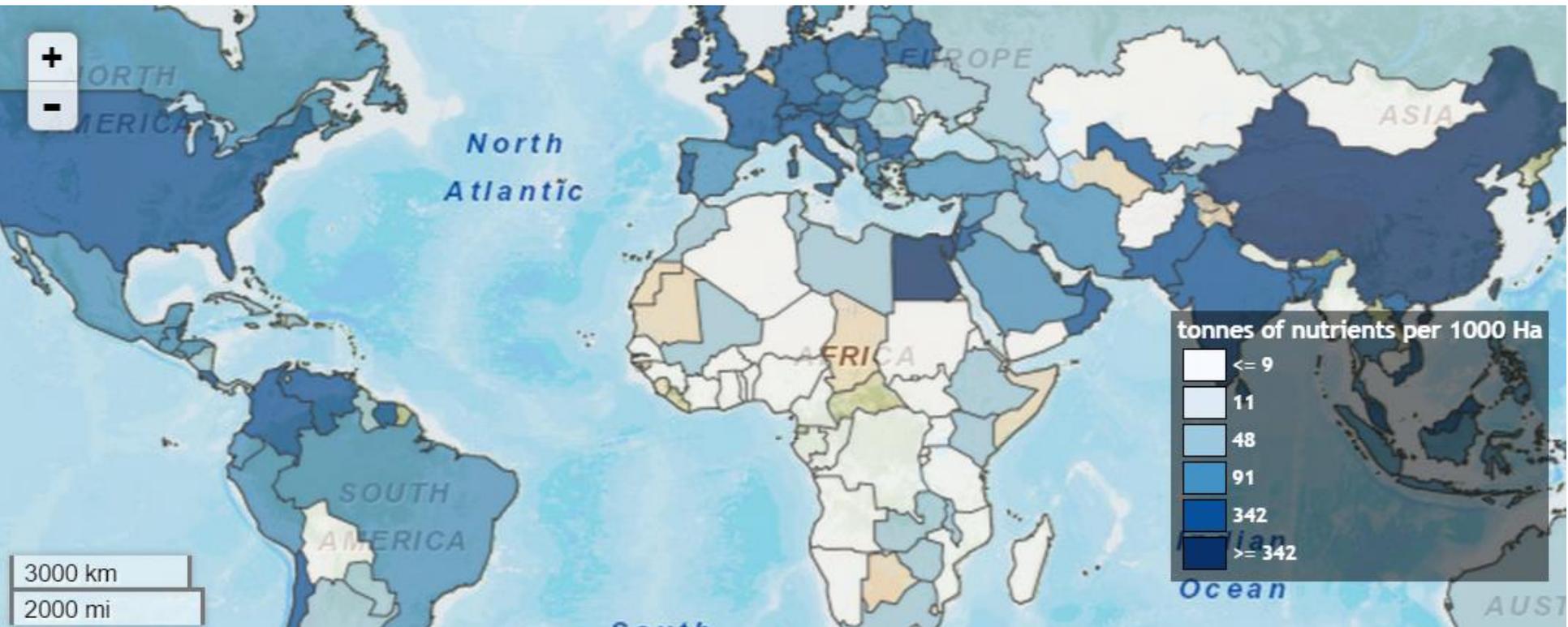
In recent decades, China has pushed the use of nitrogen fertilizer to help wrest as much food out of farms as possible, in part to stave off the famines of the past. Of course, such overuse of nitrogen results in air pollution and ocean dead zones—as well as, paradoxically, less fertile soil.

Now new research shows that by using just one third of typical amounts—presently as much as **600 kilograms per hectare**—farmers could get the same or better results growing corn, rice and wheat, the main staple crops. The key is applying the fertilizer to seedlings rather than adding it to soil while planting, write Ju Xiao-Tang of China Agricultural University in Beijing and his colleagues in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*.

Uso de fertilizantes por país

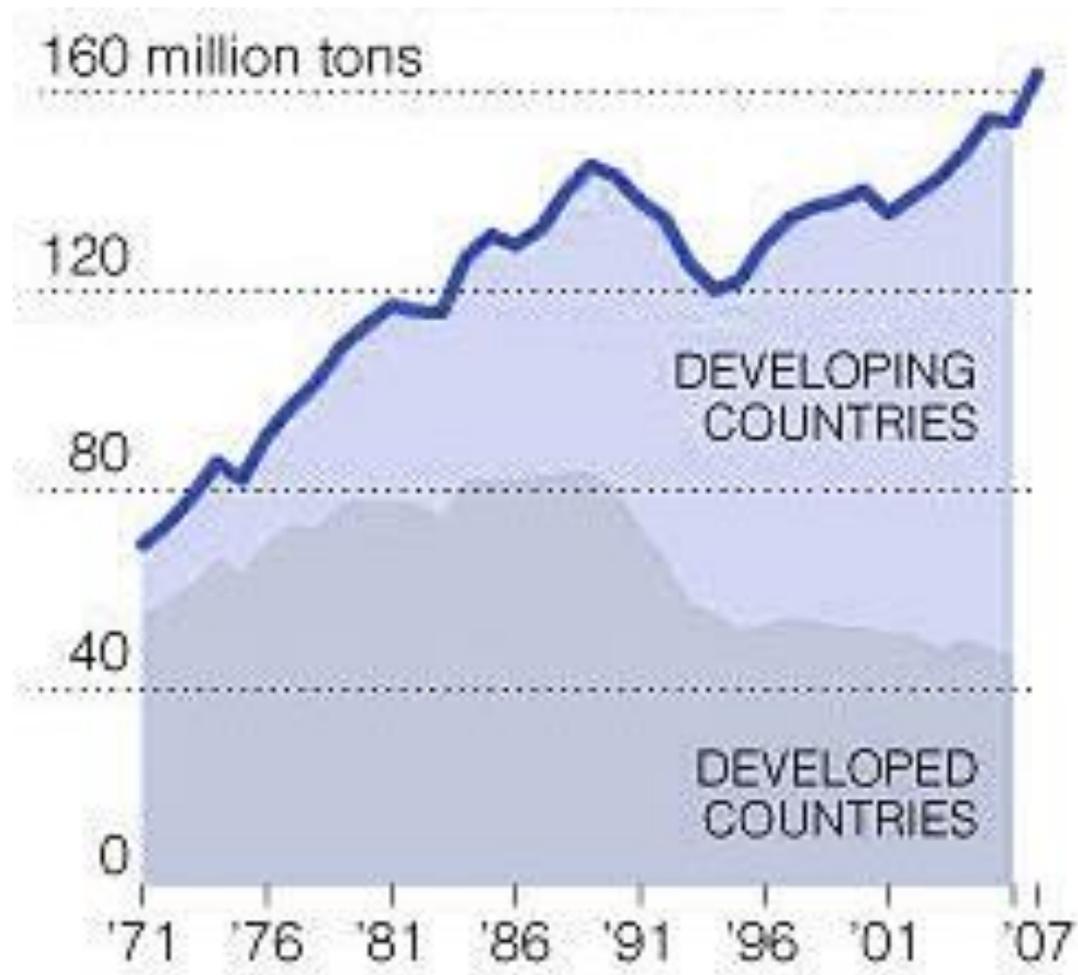
(Fertilizer nutrient use on arable and permanent crop area by country)

N + P₂O₅ (media 2002 – 2010)



Fonte: FAOSTAT (2014)

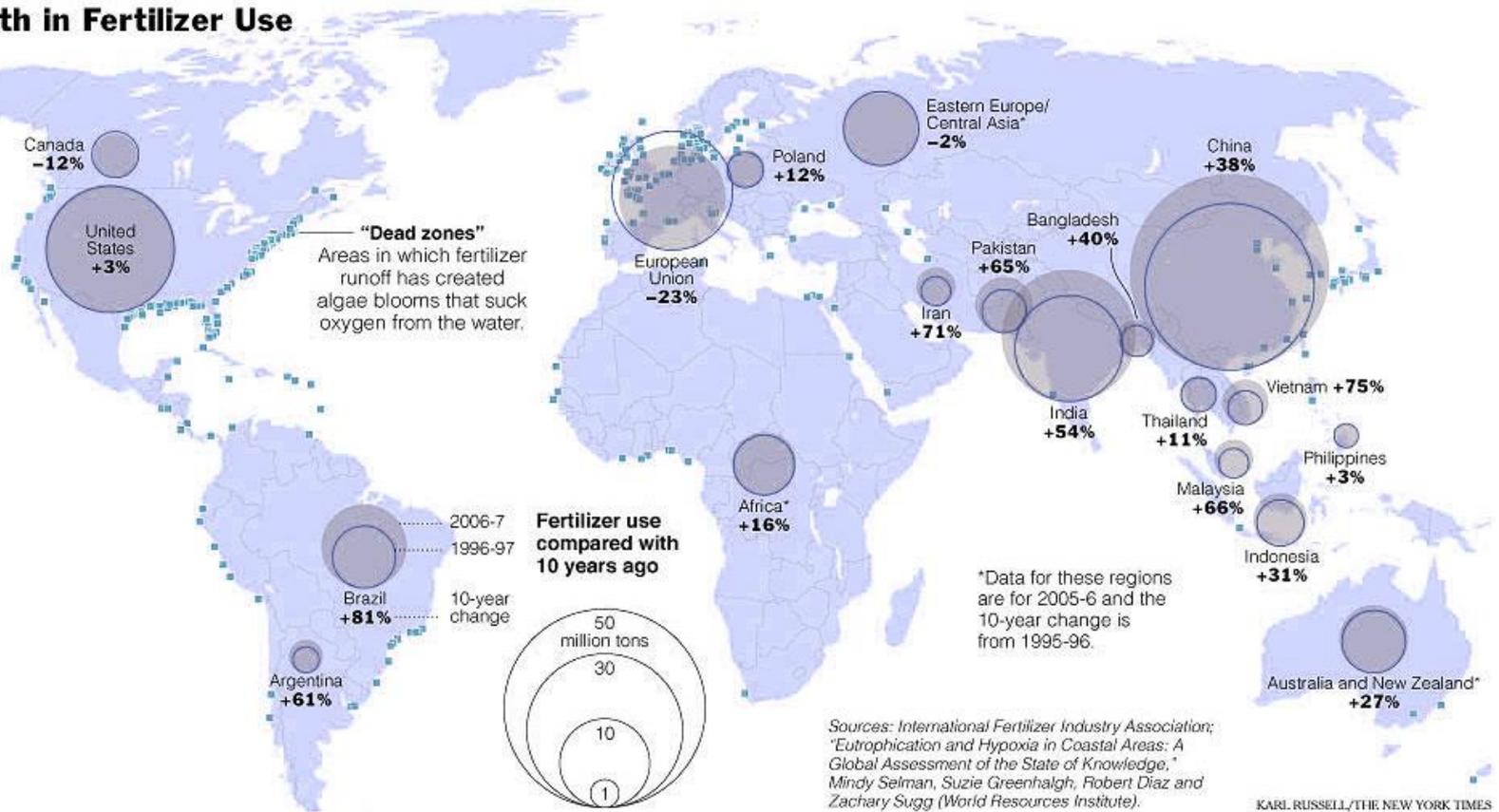
Consumo de fertilizantes no mundo



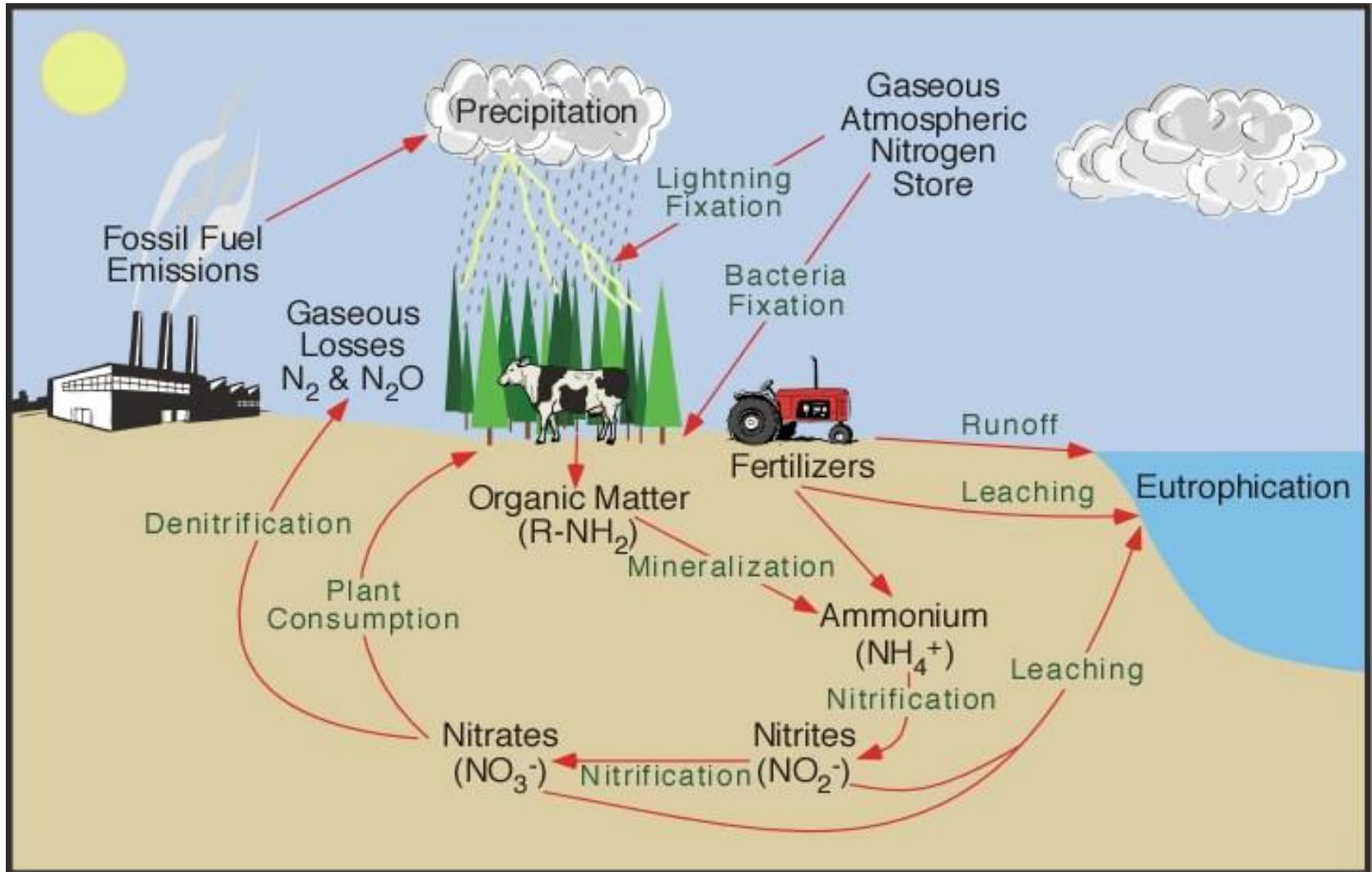
Crescimento no consumo de fertilizantes no mundo

Worldwide Growth in Fertilizer Use

Fertilizer use has been growing faster in developing countries than in the industrialized world in recent years. But rising demand has produced a big price jump. Increased fertilizer runoff is expected to worsen the problem of dead zones along ocean shores.



CICLO DO NITROGÊNIO NO SOLO



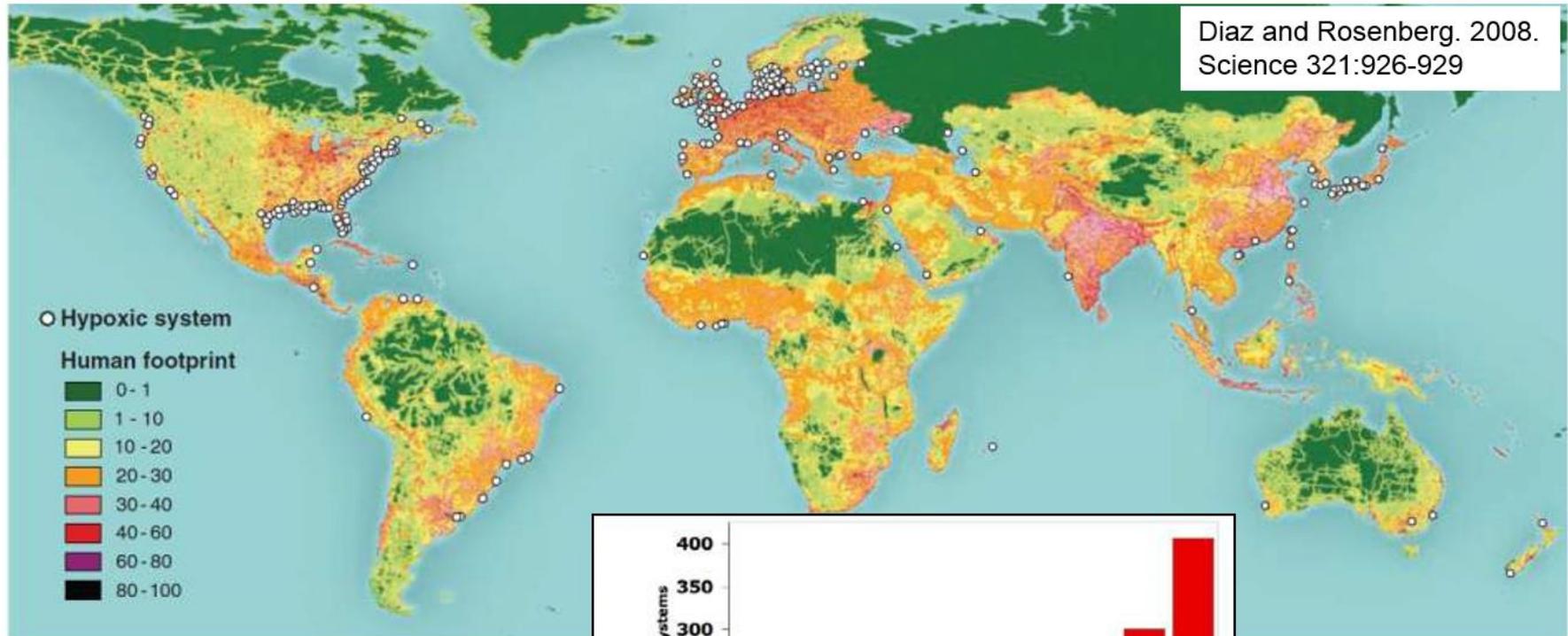
TRANSFORMAÇÕES DO N DO SOLO

1. MINERALIZAÇÃO: $\text{N org} \rightarrow \text{N mineral (NH}_4^+)$
2. NITRIFICAÇÃO: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$
3. DESNITRIFICAÇÃO: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$
4. VOLATILIZAÇÃO: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$
5. LIXIVIAÇÃO: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{Águas subterrâneas}$
6. FIXAÇÃO BIOLÓGICA: $\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3$
7. ABSORÇÃO: $\text{NH}_4^+ \text{ e } \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Plantas}$

1. LIXIVIAÇÃO DE NITRATO (NO_3^-)

- **Altas taxas de NO_3^- está associado com:**
 - **Metahemoglobinemia em crianças e ruminantes**
 - **Câncer no intestino**
 - **Problemas durante a gestação (má formação)**
 - **Ataque do coração**
- **Eutrofização de recursos hídricos**
- **Limite aceito pela legislação: 10 mg N L⁻¹**

Hypoxic Zones Are Increasing Globally



Problemas de lixiviação em áreas intensamente povoadas!

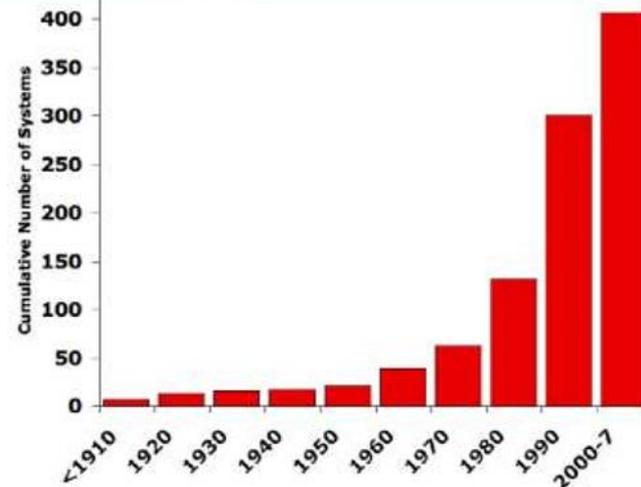
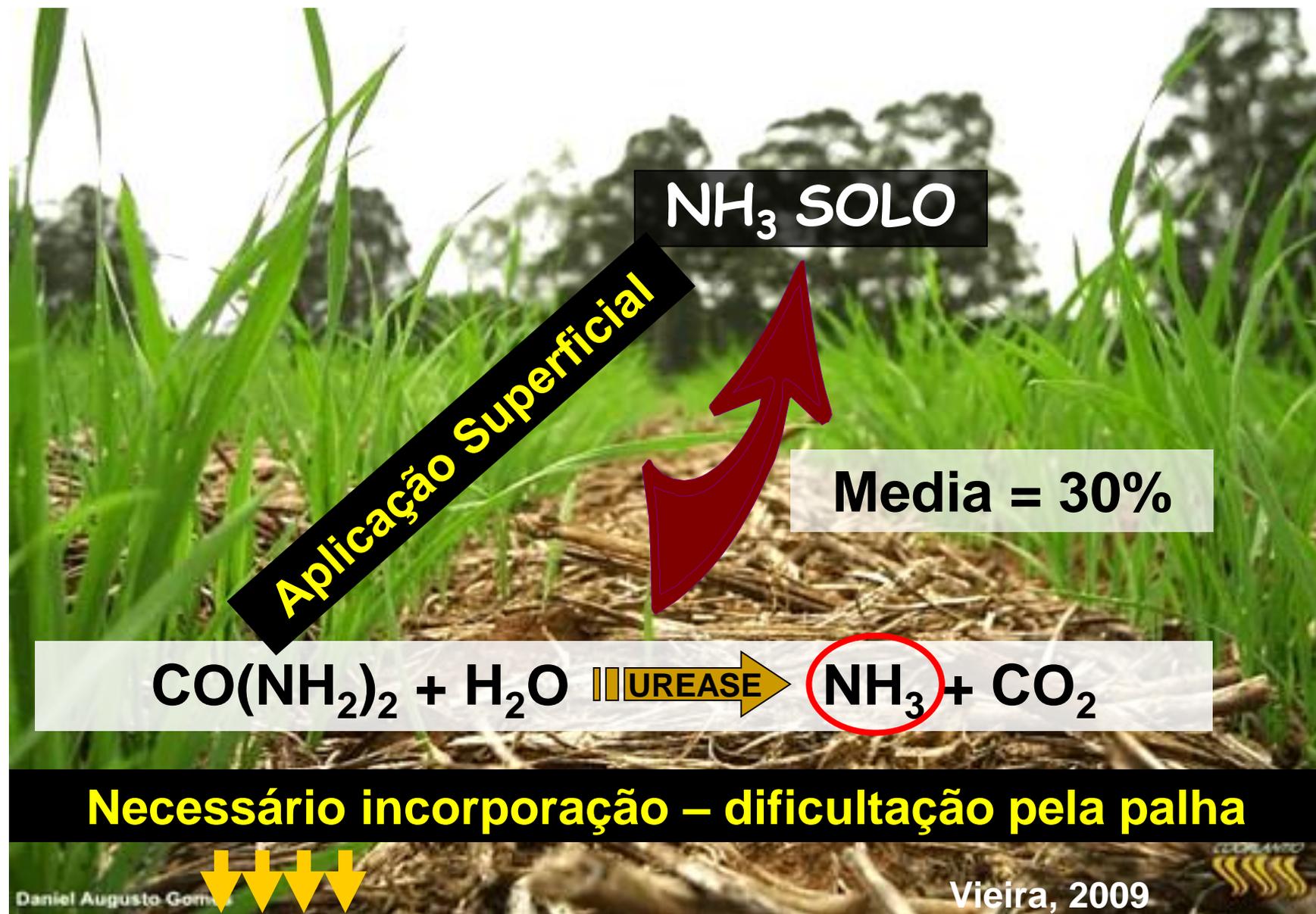


Figure S1. Cumulative increase in dead zones through time reported in the scientific literature. Systems are grouped by decade of first documented account (Table S1). The number of dead zones started to approximately double every ten years starting in the 1960s.

2. VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA (NH₃)



2. VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA (NH₃)

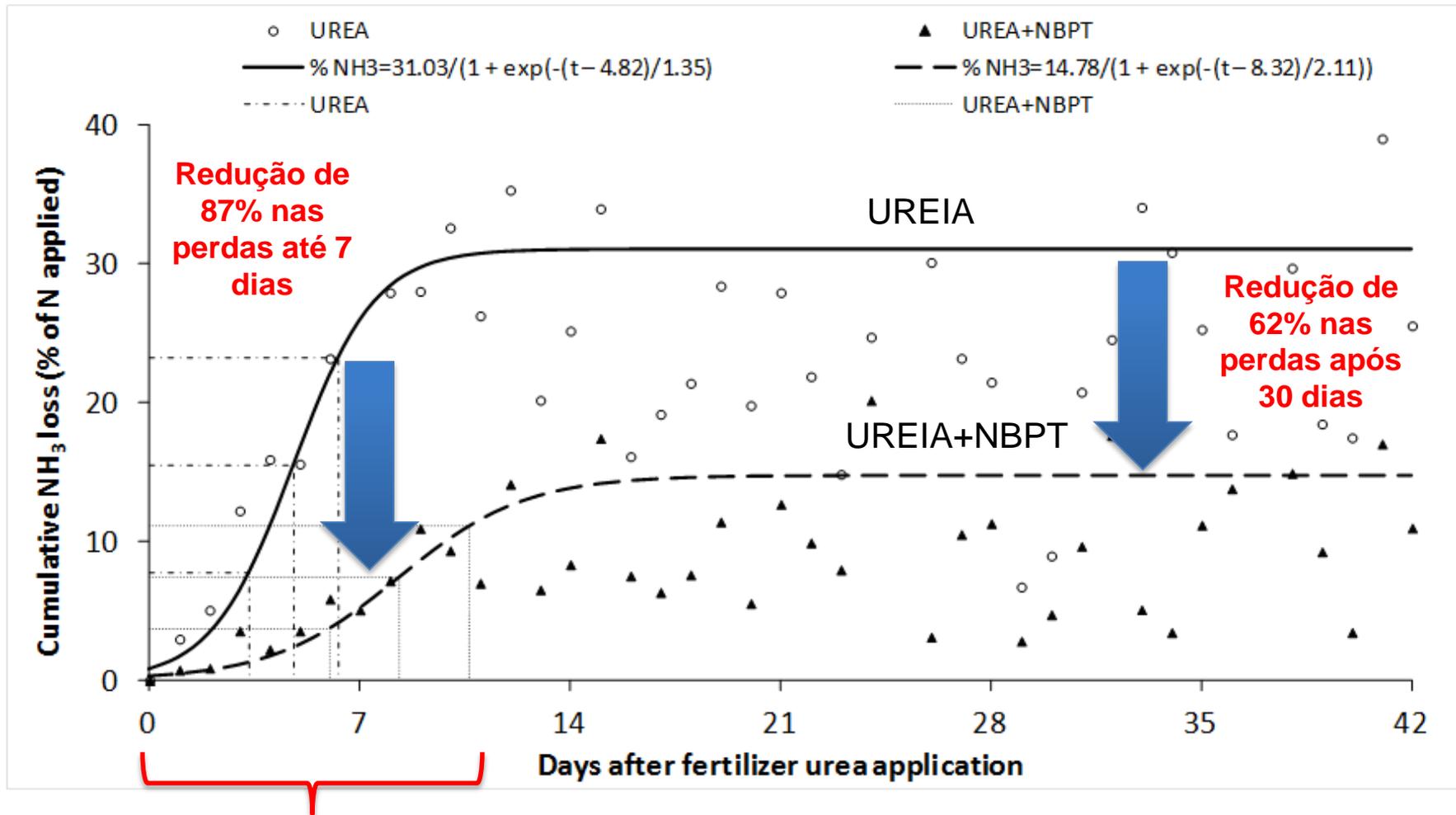
- Implicações para o ambiente

- NH₃ pode ser oxidado e convertido para ácido nítrico
- Associação entre HNO₃ e H₂SO₄ (indústrias) pode formar chuva ácida
- Prejudicial à vegetação e acidificação de lagos

COMO EVITAR A PERDA DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA?

- **Incorporar ureia (abaixo de 40 mm)**
- **Precipitação ou irrigação suficiente (> 25 mm)**
- **Uso de inibidor de urease**

USO DE INIBIDOR DE UREASE

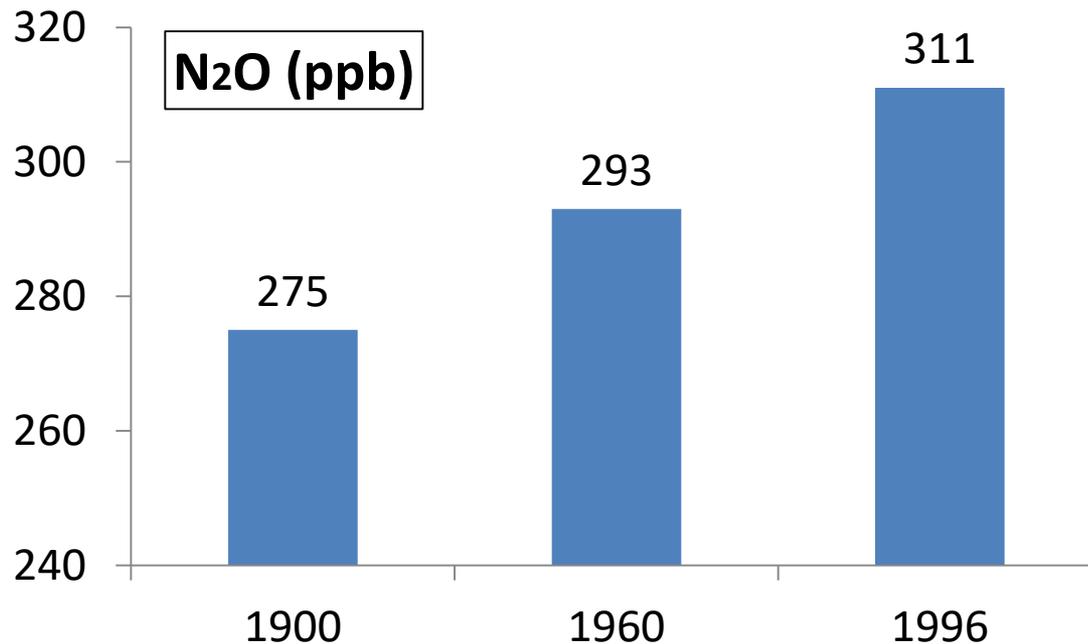


Período mais importante para a ação do NBPT

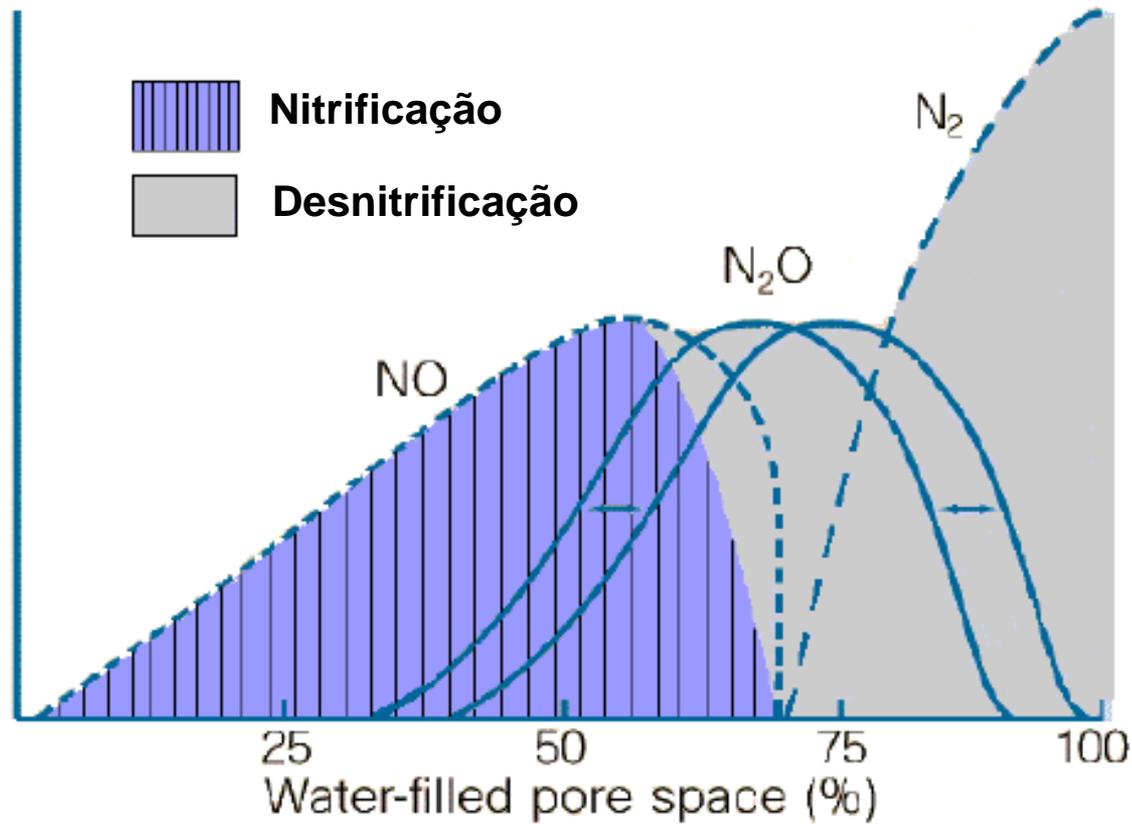
Fonte: Silva et al., 2016

3. EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO

- Atividades agrícolas: 70% das emissões causadas pelo homem
- **Destruição da camada de ozônio: exposição à radiação ultravioleta excessiva e aquecimento global**
- **Industrialização também contribui!**



Desnitrificação causa emissão de N_2O



Fonte: Bowman, 1998

Implicações ambientais da desnitrificação

Efeitos adversos

- Emissão de N_2O

Problemas ambientais do N_2O

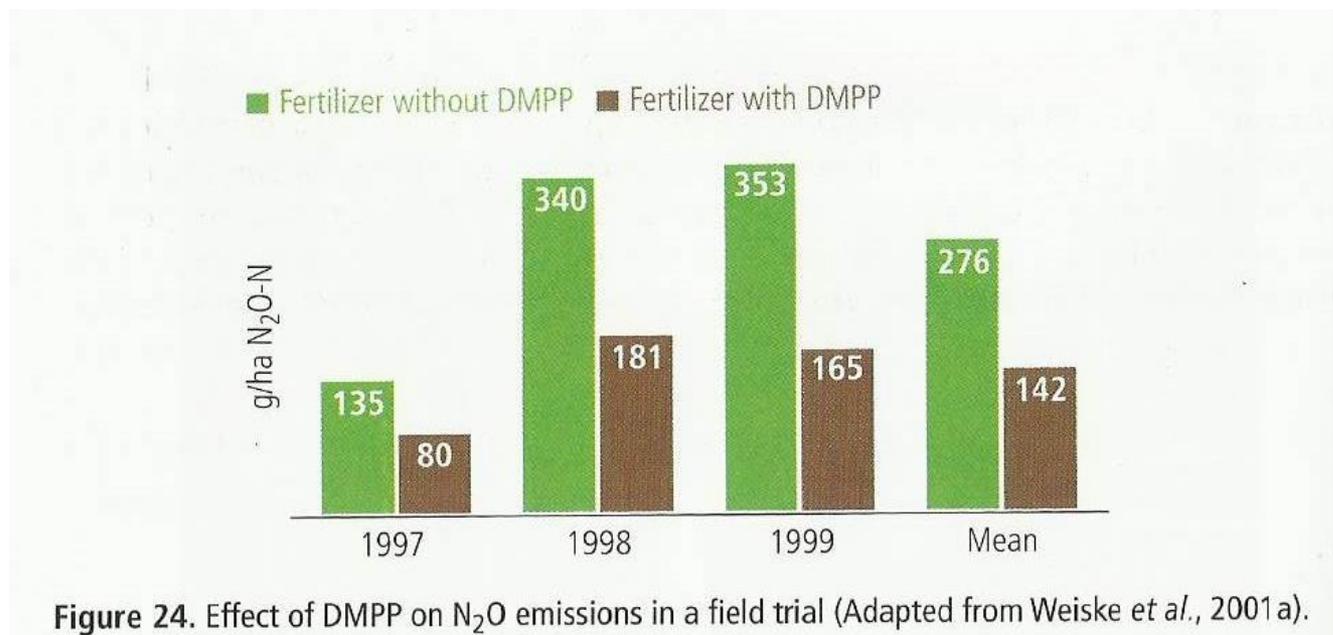
- Um gás de efeito estufa
 - 300× mais potente do que CO_2 por unidade de massa
- Promove destruição do ozônio estratosférico

Fator de emissão de N_2O dos fertiliz. nitrogenados

- IPCC: 1 % da dose de N aplicada

COMO EVITAR A DESNITRIFICAÇÃO?

1. Não aplicar fertilizantes nitrogenados (nitrato) em solos encharcados
2. Parcelar a adubação nitrogenada
3. Utilizar inibidores de nitrificação (DCD, DMPP)



5. ACIDIFICAÇÃO DO SOLO

Adubos amoniacais: são de caráter ácido, em virtude da presença do íon amônio (NH_4), que é doador de H^+ , responsável pela acidez, na reação de nitritação.

Nitrificação:



Índice de acidez de um fertilizante \rightarrow quilogramas (kg) de carbonato de cálcio necessários para neutralizar a acidez originada pelo uso de 100 kg do fertilizante.

Índice de acidez dos fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Equivalente CaCO_3	
	por kg de N	por 100 kg do produto
	————— kg —————	
Amônia anidra	-1,80	-148
Ureia	-1,80	-79
Sulfato de Amônio	-5,35	-107
MAP	-5,00	-45
Nitrato de Amônio	-1,80	-58
Nitrocalcio	0	0
Nitrato de cálcio	+1,35	+ 19
Nitrato de sódio	+1,80	+27
Nitrato de potássio	+2,00	+26

Acidificação causada pelos fertilizantes nitrogenados

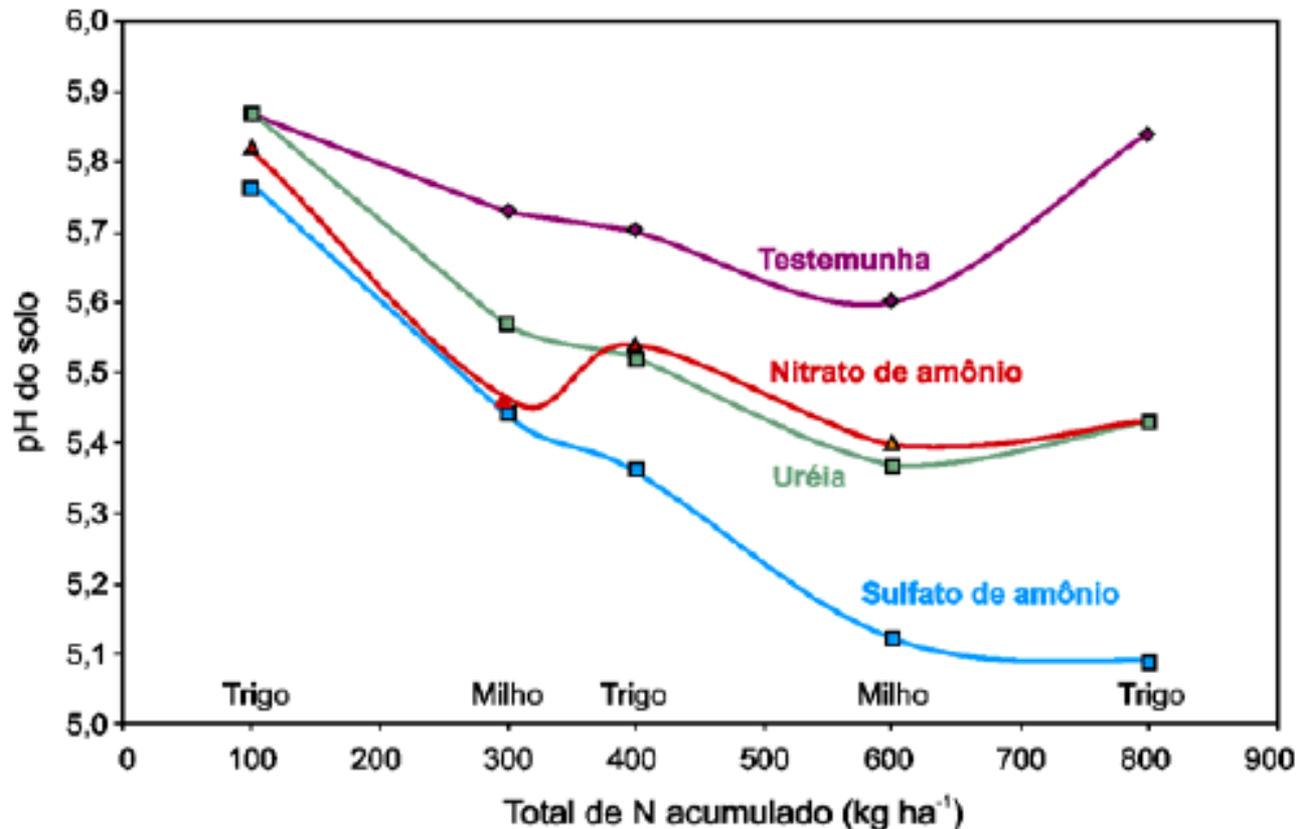
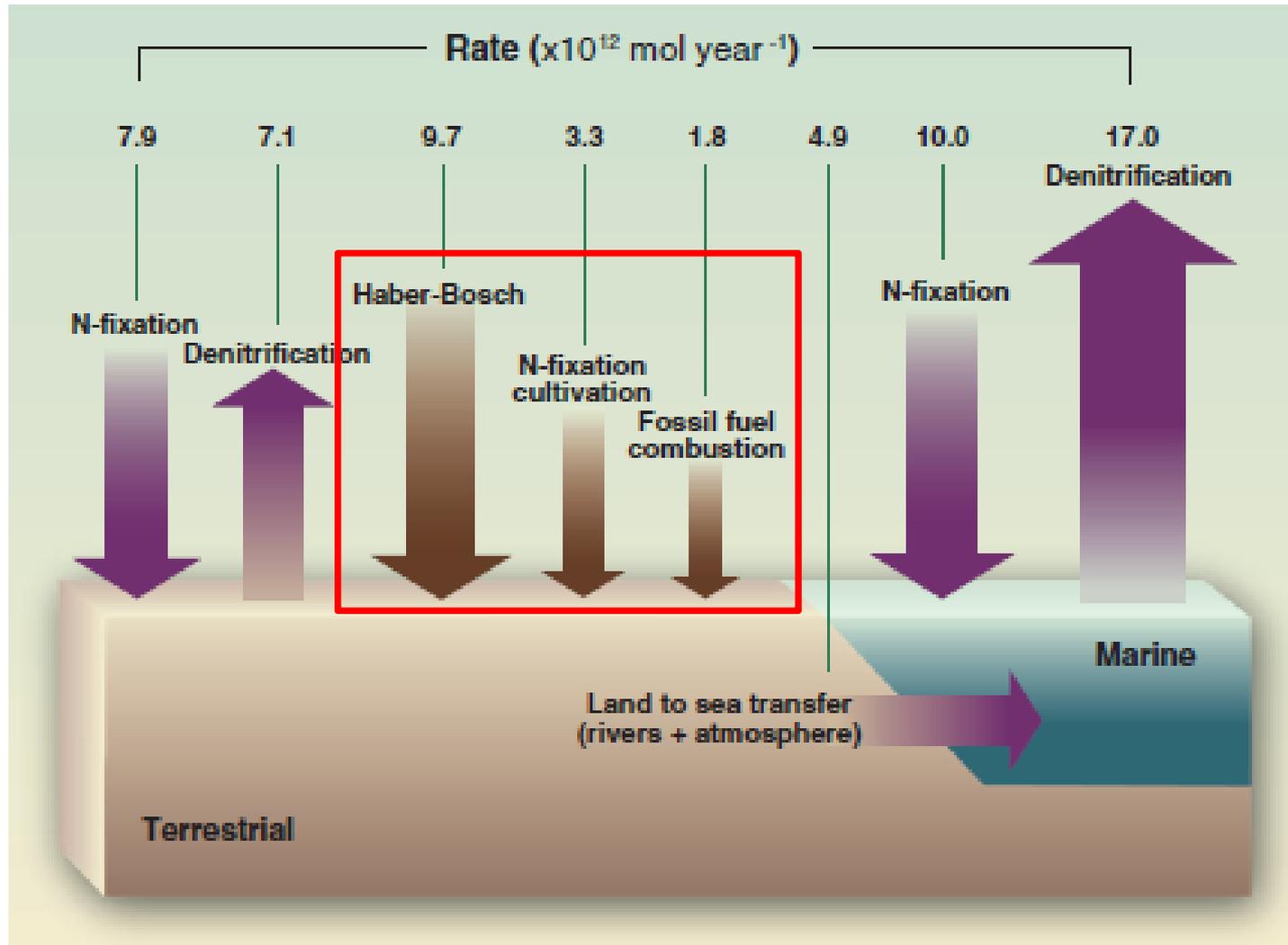


Figura 1. Efeitos de aplicações de N (três anos) sobre o pH de um solo argiloso (Sharkey).

Fonte: Stipp & Prochnow (2008).

O CICLO DO N NA TERRA



Fonte: Canfield et al. (2010)

FERTILIZANTES SINTÉTICOS

“A sustentabilidade a longo prazo requer uma diversificação na agricultura, envolvendo uma transição gradual do uso de fertilizantes sintéticos para rotações com leguminosas”

Mulvaney et al. (2009)

“A longo prazo somente a adubação orgânica ou o uso conjunto de fertilizantes orgânicos e sintéticos mostrou-se sustentável para manutenção do estoque de C do solo”

Ladha et al. (2011)

**POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS
RELACIONADOS AOS FERTILIZANTES
FOSFATADOS**

FERTILIZANTES FOSFATADOS E O AMBIENTE

1. EUTROFIZAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS



- Causado por elevada concentração de P, N e C (P é o mais limitante)
- Eutrofização aumenta crescimento de algas, diminui O_2 e causa morte de peixes
- Causado principalmente por resíduos industriais, resíduos orgânicos e lodo de esgoto

2. POLUIÇÃO DO AR NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

- Emissão de fluor para a atmosfera
- Cd presente nos fertilizantes



Figure 1. Damage to an apricot tree leaf caused by fluoride from the Sfax phosphate fertilizer factory.

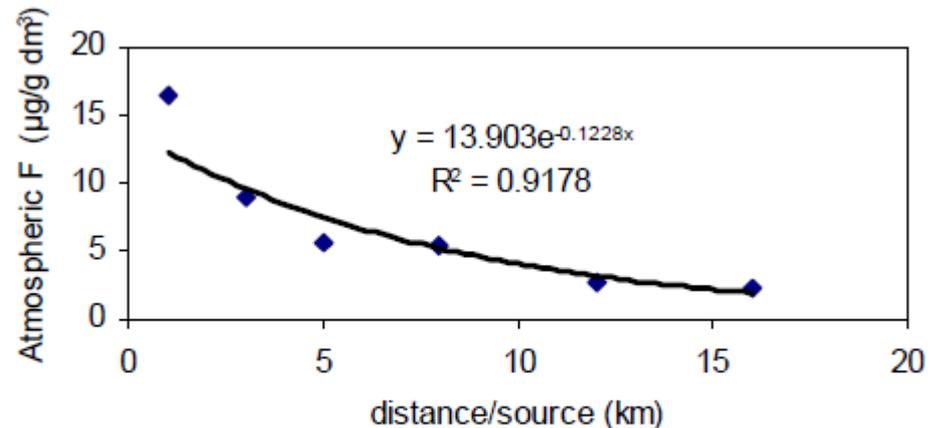


Figure 4. Mean atmospheric fluoride as a function of the distance from the fertilizer factory in the year 2000.

COMO REDUZIR OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DE FERTILIZANTES?

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

“Desenvolver sistemas agrícolas que sejam produtivos e lucrativos, conservem a base de recursos naturais, protejam o ambiente e aumentem a saúde e a segurança a longo prazo”

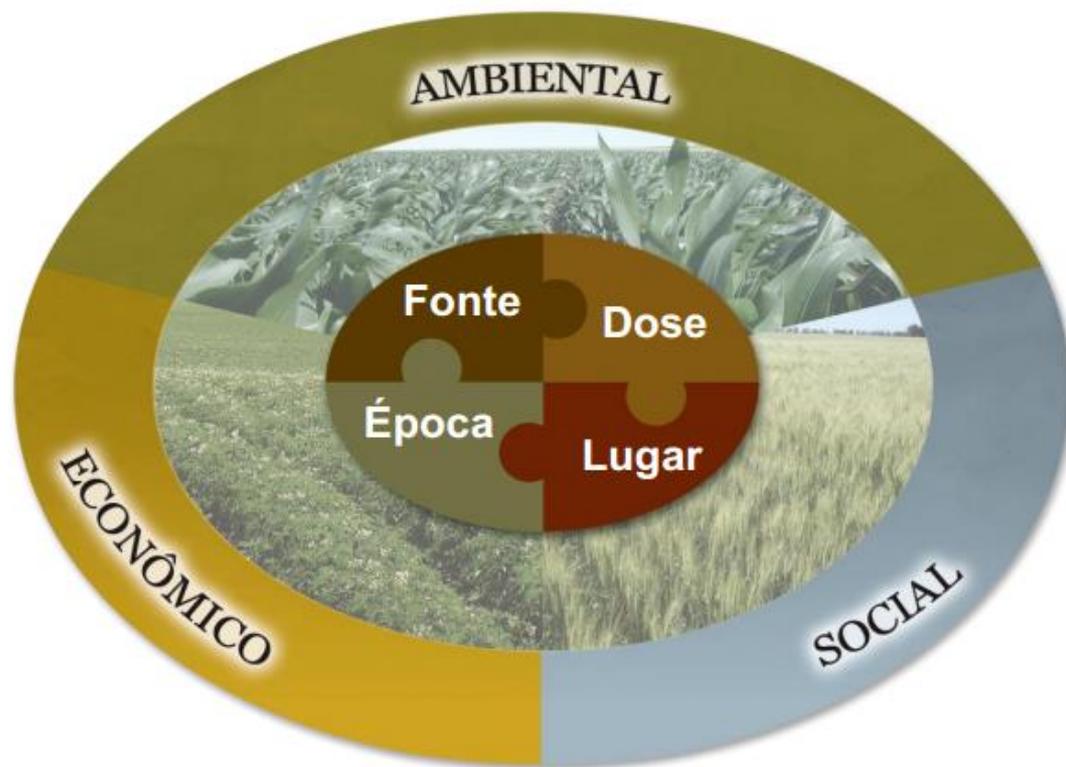
PRASAD (1997)

COMO **REDUZIR** IMPACTOS AMBIENTAIS COM O USO DE FERTILIZANTES

- 1) Considerar o fornecimento de nutrientes pelo solo (análise de solo)**
- 2) Aplicar a dose adequada de nutriente**
- 3) Fonte, modo e época de aplicação adequados são imprescindíveis**

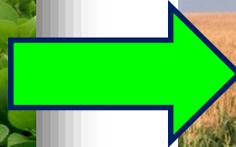
Conceito 4C de Nutrição de Plantas

- **FONTE CERTA, DOSE CERTA, ÉPOCA CERTA E LUGAR CERTO**
 - conectando as práticas da ciência com o desempenho da sustentabilidade



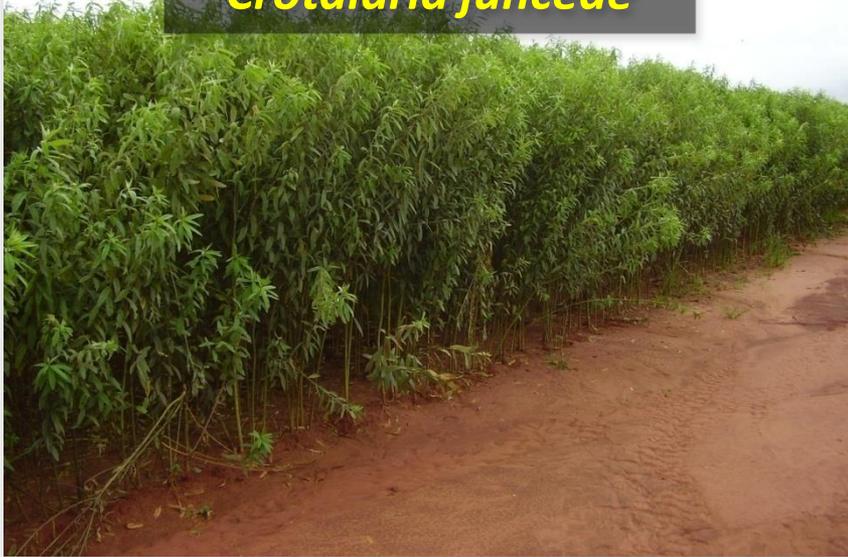
- 4) Utilizar adequadamente resíduos orgânicos**
- 5) Promover a rotação de culturas com leguminosas**
- 6) A agricultura de precisão é uma alternativa interessante**
- 7) Fertilizantes de liberação lenta tem se mostrado promissores**

ROTAÇÃO DE CULTURA



ROTAÇÃO COM LEGUMINOSAS

Crotalaria juncea



Crotalaria spectabilis



Soja



Amendoim



USO DE SUBPRODUTOS

TORTA DE FILTRO

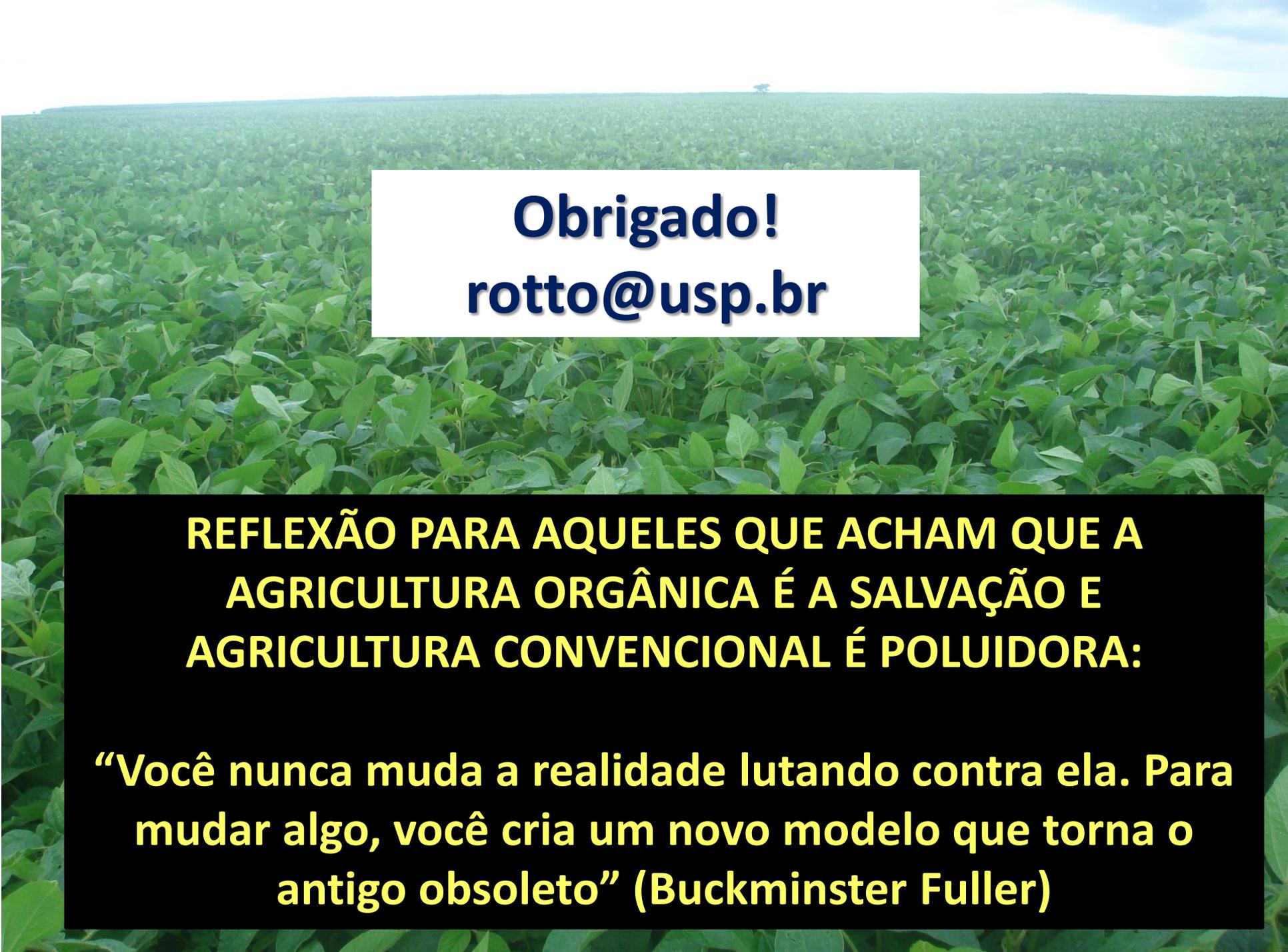


VINHAÇA



COMO RECUPERAR ÁREAS AFETADAS PELO USO EXCESSIVO DE FERTILIZANTES

- 1) A melhor opção seria plantar culturas que absorvam quantidades elevadas dos elementos presentes em grande quantidade no solo (fitoremediação)
- 2) Reduzir as doses de fertilizante aplicadas anualmente



Obrigado!
rotto@usp.br

**REFLEXÃO PARA AQUELES QUE ACHAM QUE A
AGRICULTURA ORGÂNICA É A SALVAÇÃO E
AGRICULTURA CONVENCIONAL É POLUIDORA:**

**“Você nunca muda a realidade lutando contra ela. Para
mudar algo, você cria um novo modelo que torna o
antigo obsoleto” (Buckminster Fuller)**