

**Novos fertilizantes
nitrogenados:**
Formas de minimizar perdas de N

Heitor Cantarella
*Centro de Solos e Recursos Ambientais
Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)*

SolloAgro | ESALQ | USP

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

1

Disponível a partir de 1 de setembro de 2022

- Muita coisa nova
- 500 páginas
- Colaboração de 127 autores de instituições públicas e privadas

BOLETIM TÉCNICO 100

RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Editores
Heitor Cantarella
José Antonio Quaggio
Dirceu Mattos Jr.
Rodrigo Marcelli Boaretto
Bernardo van Raij

3ª edição
revisada e
atualizada

INSTITUTO AGRÔNOMO (IAC)
CAMPINAS (SP)
2022

USP

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

2

Tópicos

- Por que nitrogênio?
- Eficiência de uso
- Perdas
- Manejo & soluções convencionais
- Aprimoramentos em fertilizantes
 - Disponibilidade lenta
 - Disponibilidade controlada
 - Aditivos
 - Mercado
- Comentários finais

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

3

Nova publicação da SBCS sobre o assunto

AVANÇOS NAS PESQUISAS E TECNOLOGIAS PARA FERTILIZANTES NITROGENADOS, FOSFATADOS E POTÁSSICOS

Douglas Guelfi⁽¹⁾, Rodrigo Coqui da Silva^(2,3), Rafael Otto⁽⁴⁾, Heitor Cantarella⁽⁵⁾

Tópicos em Ciência do
Solo 11:101-159, 2021

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

4

Por que Nitrogênio?

- Razões agronômicas
 - É o principal nutriente usado na agricultura mundial. Seu efeito para o aumento da produtividade é inquestionável
 - Alta demanda pelos vegetais
 - Recuperação e eficiência de uso
 - Perdas elevadas
- Razões ambientais
 - Alto custo energético
 - Emissões de GEE associadas
 - Impactos sobre o ambiente

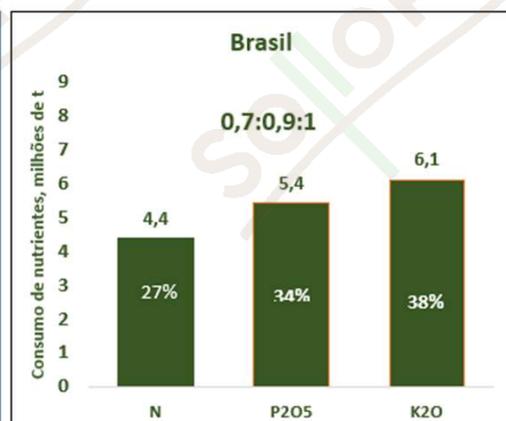
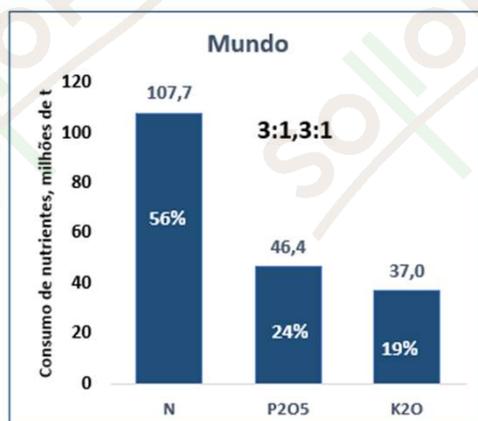
SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

5

N: nutriente mais consumido no mundo



N no mundo: 59% para cereais

Brasil: 4% do consumo mundial de N
IFA, 2019

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

6

Nutrientes & Ambiente



Eutrofização e hipoxia por excesso de nutrientes em sistemas aquáticos:

Fertilizantes nitrogenados

Baixa eficiência:

Sujeitos a perdas por lixiviação, volatilização etc.

Excesso no ambiente = potencial poluidor



SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

7

Fertilizantes nitrogenados e gases de efeito estufa

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

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
- Fertilizantes: 18% dos GEE da agricultura e 2,5% dos GEE (antropogênica) totais.
- Emissões de N₂O de fertilizantes usados na agricultura têm grande peso no balanço de GEE



SolloAgro

ESALQ USP

8

Fertilizantes nitrogenados: alto impacto no balanço de emissões de GEE (& Energia)

Emissões na manufatura e no uso do fertilizante no campo (N₂O)

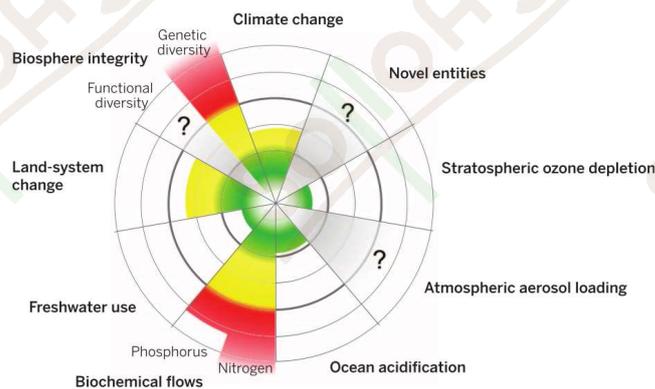
Na indústria: síntese de NH₃ requer H⁺ (gás natural, carvão, eletrólise da água ou outra fonte)

No campo:

- Grandes quantidades de CO₂ emitidas com o uso de energia fóssil

- Emissão de óxido nitroso (N₂O) por processos naturais do ciclo do N no solo
 - Nitrificação, desnitrificação
- N₂O é emitido em pequenas quantidades, mas, N₂O tem efeito de gás de estufa equivalente a ~300 vezes o do CO₂

Além dos limites de alguns sistemas terrestres



O ciclo do N foi um dos sistemas que extrapolou os limites.

Autor propõe que os limites de entrada de N: 61-82 Mt/ano

Atualmente: 120 Mt/ano (fertilizante e FBN)

■ Beyond zone of uncertainty (high risk)
 ■ Below boundary (safe)
 ■ In zone of uncertainty (increasing risk)
 ■ Boundary not yet quantified

Steffen et al. Science 2015

Limites para N (industrial e FBN intencional: 62 Tg N ano⁻¹ (62–82 Tg N ano⁻¹).

Our Nutrient World

The challenge to produce more food and energy with less pollution

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/gpnm.html www.initrogen.org
 www.scopenvironment.org www.ighp.net/publications

Sutton et al, 2013

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).

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

11

Pegada de C para a produção e uso de fertilizantes nitrogenados

kg CO₂e / kg N



- CO₂ da calagem
- N₂O via perda de nitrato
- N₂O via volatilização de NH₃
- N₂O direto do solo
- CO₂ da hidrólise da ureia
- Emissão na produção do fertilizante

Fonte: Brentrup et al. (2016)

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

12

Emissões de gases do efeito estufa em equivalência em CO_{2e} associadas ao uso no campo e à energia para a fabricação de fertilizantes

Via de emissão	Fertilizante ¹ (concentração do nutriente principal, em %)				
	UR (46)	NA (34)	SA (21)	SFT (21)	KCl (50)
	----- kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N, P ou K -----				
Na fabricação do fertilizante	3,36	9,33	2,86	1,25	0,50
Emissões com o uso					
N ₂ O no campo	5,15	3,71	4,67	0,00	0,00
N ₂ O via NH ₃	0,61	0,03	0,10	0,00	0,00
N ₂ O via lixiviação de NO ₃ ⁻	1,04	1,03	1,05	0,00	0,00
CO ₂ da calagem (acidificação pelo N)	0,78	0,79	2,38	0,05	0,00
Total (Produção + Uso)	10,94	14,89	11,06	1,30	0,50
	----- MJ kg ⁻¹ de N, P ou K -----				
Energia gasta	51,0	41,9	38,4	6,2	6,0

Fonte: Guelfi et al. 2021

¹ UR: ureia, NA: nitrato de amônio; SA: sulfato de amônio, SFT: superfosfato triplo, KCl: cloreto de potássio.

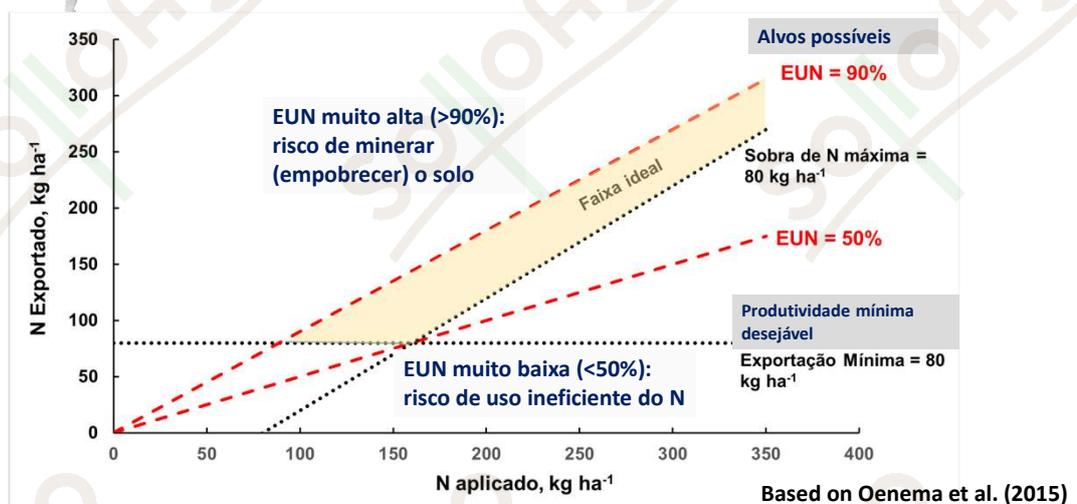
SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

13

Indicador de Eficiência de uso de N (EUN)



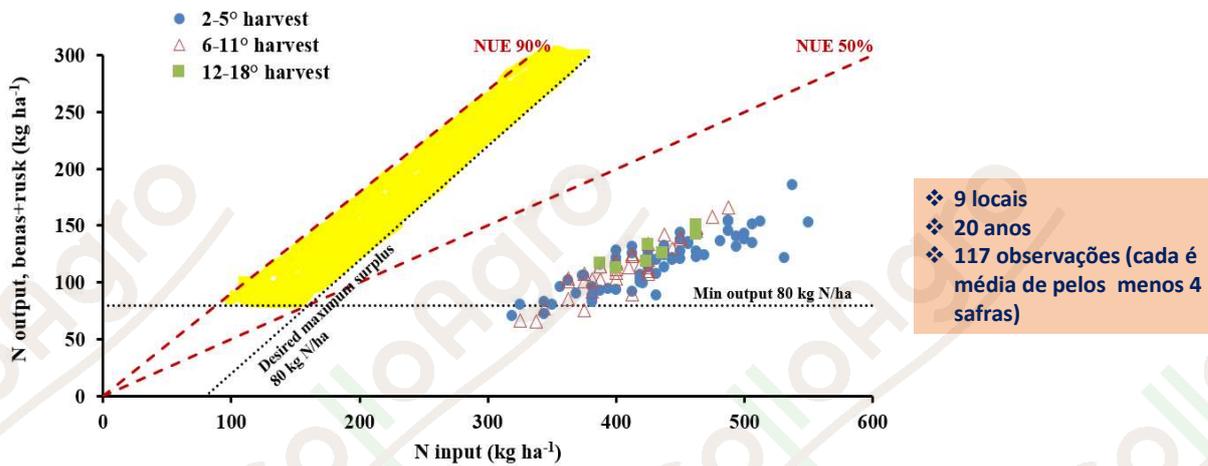
SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

14

Usando o mesmo sistema gráfico para café (Santinato et al. 2020)



SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

15

Eficiência aparente de uso de nutrientes em algumas culturas no Brasil (2013-2016)

Cultura	Consumo de nutrientes			Exportação pela colheita		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- Mt -----			----- % -----		
Milho	4,93	2,28	2,41	64	80	57
Cana	3,25	1,12	3,51	76	67	64
Arroz	0,71	0,32	0,28	83	75	89
Laranja	0,23	0,08	0,17	57	33	73
Café	1,46	0,38	1,13	20	12	42

EUN média em 1990: 130%
 EUN média em 2012: 65-70%
 EUN média em 2016: 58%

Fonte: Cunha, J. F., Francisco, E. A. B., Prochnow, L. I. (2018). Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 2013 a 2016. *Informações Agronômicas* **162**, 3-14.

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

16

Adubação tem grande peso no balanço ambiental de algumas culturas

Renewable and Sustainable Energy Reviews 149 (2021) 111423



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Implications of regional N₂O–N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates

João Luís Nunes Carvalho^{a,*,1}, Bruna Gonçalves Oliveira^{b,1}, Heitor Cantarella^b,
Matheus Ferreira Chagas^a, Leandro Carolino Gonzaga^{a,c}, Késia Silva Lourenço^b,
Ricardo Oliveira Bordonal^a, Antonio Bonomi^a

• Por exemplo: 30 a 50% das emissões de GEE para a produção de etanol de cana-de-açúcar estão ligadas ao uso de fertilizantes nitrogenados

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

17

Perdas de N

- Lixiviação de nitrato/eutrofização & contaminação de águas
 - Geralmente não percebido como um problema generalizado na agricultura extensiva e pastagens no Brasil
 - Doses de N relativamente baixas; parcelamento do N
 - Solos profundos. Oxissolos com cargas variáveis
 - Isto está mudando com agricultores usando mais N e novos manejos
- Volatilização de NH₃
 - Maior preocupação com ureia: aplicações na superfície, SPD...
 - Perdas de 10 a 40% do N aplicado
- Desnitrificação
 - Solos com excesso de humidade
 - Sequeiro: perdas desconhecidas

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

18

Fontes de fertilizantes nitrogenados no Brasil: 2018

Fontes de N	Mt N
UR	2,539
SA	0,474
NA	0,414
CAN	0,152
MAP & DAP	0,532
Outros	0,594
Total	4,605

Mundo: ~ 130 Mt N

ANANDA, 2020

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

19

Sistemas onde a incorporação de ureia é difícil



SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

20

Boas práticas para aumentar a eficiência de uso de N – 4C

Componente	Objetivo
Fonte certa	Usar formas prontament disponíveis para as plantas. Aproveitar as vantagens de formulações com maior eficiência e redução de perdas ambientais
Dose certa	Fornecer quantidade adequada para suprir a necessidade da cultura
Época certa	Aplicar em época compatível com a de maior demanda da planta, levando em conta o suprimento o solo, riscos ambientais (chuvas, secas) e logística de operações
Local certo	Levar em conta a dinâmica solo-raíz e a movimentação do nutriente (lixiviação, erosão), manejando a variabilidade espacial para minimizar perdas no campo.

Os conceitos 4-C se aplicam a todos os nutrientes, mas são especialmente importantes para o N

Baseado em Reetz Jr (2016)

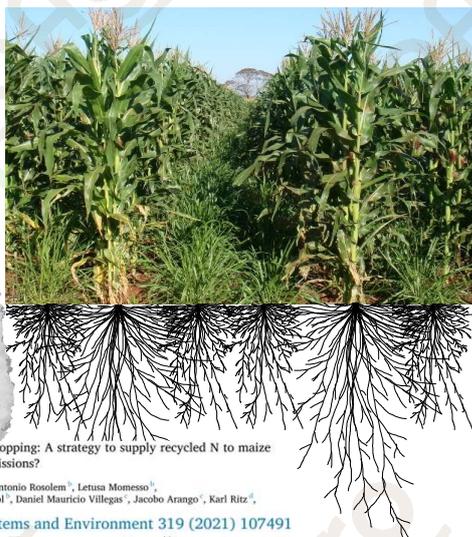
SolloAgro

ESALQ USP

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

21

Manejo de sistemas: sucessão de culturas, cultura intercalar, de cobertura etc (*milho-braquiária*)



Maize-Brachiaria intercropping: A strategy to supply recycled N to maize and reduce soil N₂O emissions?

Lucas Pecci Canisares¹, Giro Antonio Rosolem², Letusa Momesso³, Carlos Alexandre Costa Crusciol⁴, Daniel Mauricio Villegas⁵, Jacobo Arango⁶, Karl Ritz⁴, Heitor Cantarella¹
Agriculture, Ecosystems and Environment 319 (2021) 107491

Exploração intensiva do solo por ambas as culturas potencialmente aumenta a eficiência de uso do nutriente

Cuidado para evitar a competição por água, nutrientes e luz

Improving Soil Fertility and Crop Yield in a Tropical Region with Paspalgrass Cover Crops

Carlos A.C. Crusciol¹, Adriano S. Nascente, Emerson Borghi, Rogério P. Soratto, and Priscila O. Martins
Agronomy Journal • Volume 107, Issue 6 • 2015

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

22

Acidez do solo/subsolo & outras condições físicas: efeito sobre o sistema radicular e EUN

Mesma quantidade de N. A única diferença foram as doses de calcário



Fonte: Quaggio et al.(1991)

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

ESALQ USP

23

As várias opções de inovação em fertilizantes nitrogenados



Fonte: Guelfi et al. 2021

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

24

Tecnologias em fertilizantes para para reduzir perdas e aumentar a eficiência de uso

• “Fertilizantes de Eficiência Aumentada*”

- A) Fertilizantes de liberação lenta/controlada
 - Recobertos, encapsulados, insolúveis etc
- B) Fertilizantes estabilizados
 - Contêm aditivos ou inibidores

*Enhanced efficiency fertilizers (EEF)

Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta

- Ureia formaldeído (UF): 38%N
- Isobutilidene diureia (IBDU) 31%N
- Crotonilidene diureia (CDU): 32%N
- Ureaform tem sido usado em café (mudas)

Fertilizantes recobertos e de liberação controlada

Núcleo com fertilizantes convencionais

SolloAgro | ESALQ | USP

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

27

Fertilizantes nitrogenados de liberação controlada – Coberturas com polímeros

Vários produtos, com diferentes tecnologias de produção da cobertura

S e polímeros

Liberação é controlada pela composição ou espessura do recobrimento:
Ex. 80% liberado em 30 dias, 90, 180 dias etc

SolloAgro | ESALQ | USP

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

28

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

Compo, 2010

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

29

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 no Japão, Israel e EUA trabalham para reduzir custo de fertilizantes LL/C

Mercado pequeno mas em grande crescimento

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

30

Fertilizantes Estabilizados

- Inibidores de nitrificação
- Inibidores de urease

SolloAgro Webinar (Cantarella, Ago 2022)

SolloAgro

31

ESALQ USP

31

INIBIDORES DE NITRIFICAÇÃO



Muitos compostos testados

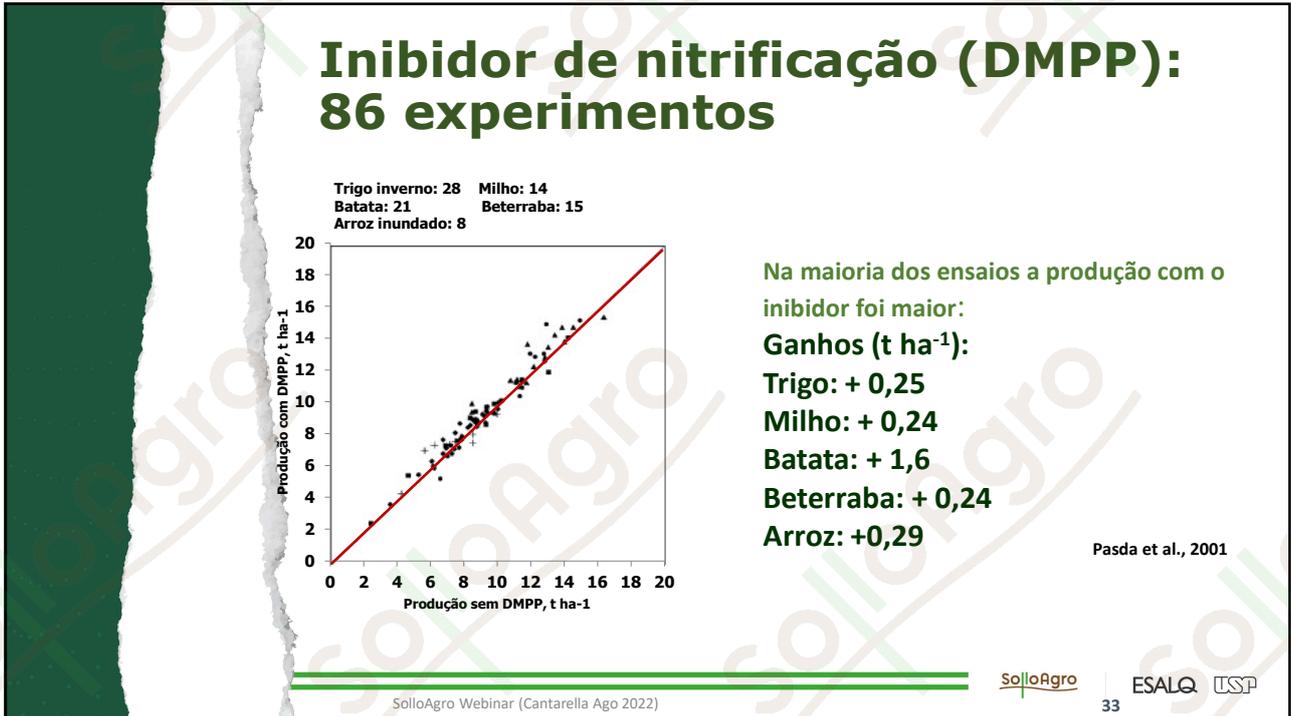
- Nitrapirina (2-cloro-6-(triclorometil) piridina)
 - Para fluidos
- Dicianodiamida (DCD)
 - Bom efeito mas doses são relativamente altas
 - É também fertilizante de liberação lenta (65% N)
- DMPP (fosfato de 3,4-dimetil pirazole)
 - Molécula comercial recente

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

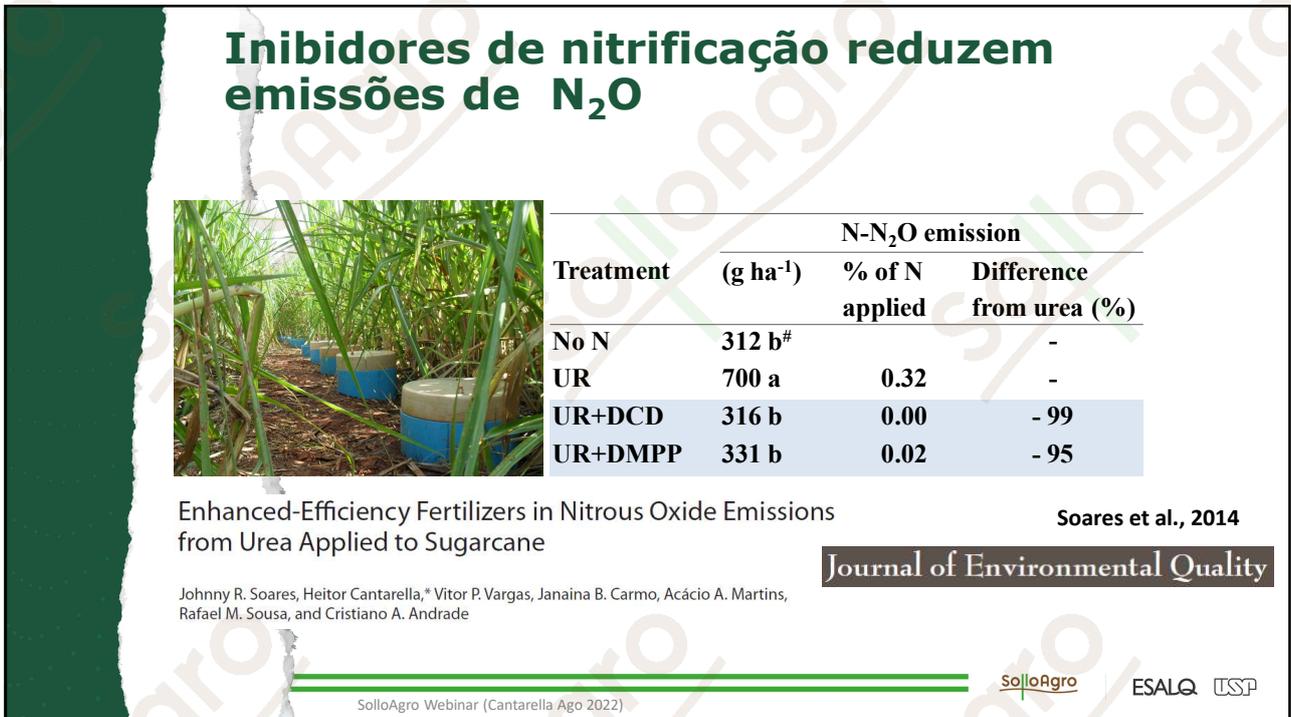
SolloAgro

ESALQ USP

32



33



34

Inibidores de urease



Aditivo à ureia que inibe a quebra da ureia pela enzima.
Vários produtos mercado mundial e brasileiro. Princípio ativo mais comum é o NBPT

Proteção (inibição) é geralmente curta (3 a 10 dias).
Resultados mostram que as perdas podem ser reduzidas em cerca de 50% a 70%

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

35

Inibidores de urease

Vários compostos testados

- Metais: Ag, Hg, Cd, Zn, Sn
 - Baixa eficiência, poluentes
- Tiofosfato de amônio
 - Baixa taxa de inibição, altas doses
- Análogos de ureia
 - Muitos produtos testados: melhores resultados: PPD e NBPT

• Inibidores recentes

- NPPT (+ NBPT) = Limus (BASF)
- NBPT modificado (Duromide, Koch)
- 2-NPT Lançado na Alemanha.

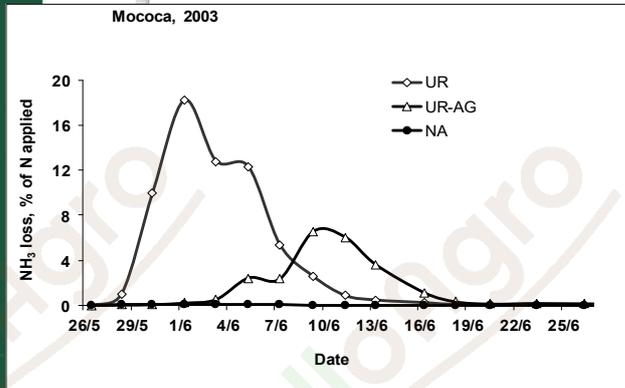
SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

36

Fundamento para ação dos inibidores de urease



- Retardar hidrólise de ureia e reduzir perdas de NH_3
- Estabilidade: 3 a 15 dias (T, umidade):
 - Brasil: 3 a 10 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

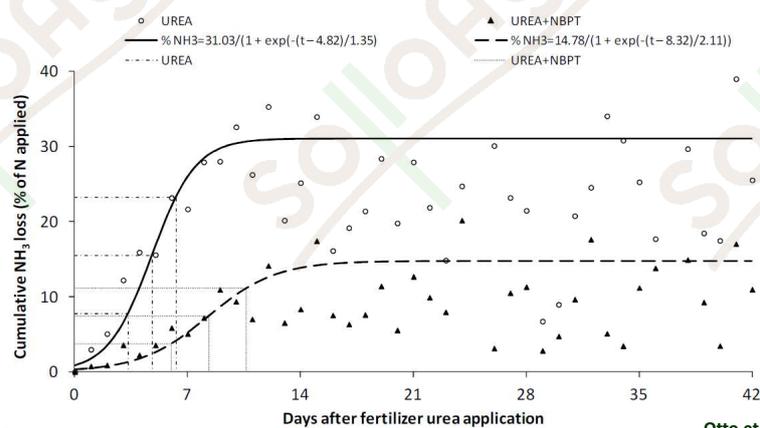
SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

37

Meta-análise de trabalhos com NBPT (121 observações da literatura)



Otto et al. (2017); Cantarella et al (2018)

Média: U 31% perda; Ureia+NBPT 14,% (Redução de 52% das perdas)

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

38

NBPT é menos efetivo para controlar perdas de NH_3 em solos ácidos

Tratamentos	Perda acumulada de NH_3 em solo com pH ajustado					
	pH 4,5		pH 5,4		pH 6,1	
	— % do N aplicado —					
UR	26	Ab	26	Ab	32	Aa
UR + NBPT	21	Ba	18	Bb	19	Bab
Redução (%)	19		31		41	

Médias com a mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey, $p \leq 0,10$.

Soares et al., 2011

Inibidores de urease:

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

O mercado mundial de fertilizantes especiais

O que são?

- Liberação controlada (LC)
- Liberação Lenta (LL)
- U recoberta com S (URS)
- Estabilizados Urease (IU)
- Estabilizados Nitrificação (IN)

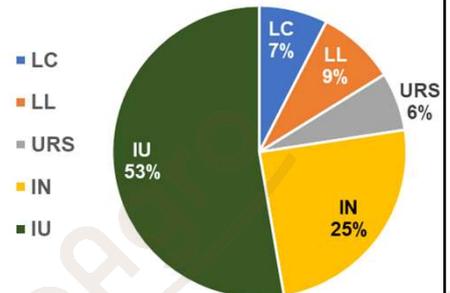
O tamanho do Mercado (2016)

4,1 % nutrientes (NPK)
7,1% das receitas

6,3 Mt (NPK) vs 191 Mt
NPK convenc (2019)

Por nutriente
N: 5,86 Mt
P: 0,23 Mt
K: 0,16 Mt

N: quais predominam



Fonte: Adaptado de IFA - International Fertilizer Industry Association, and Ramsbacher, A. (2018).

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

41

Amônia verde



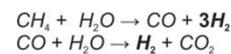
Amônia produzida com zero emissões de carbono e produzida utilizando energia de fontes sustentáveis, como a solar, eólica, geotérmica, biomassa e das marés.



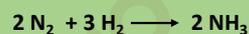
Amônia produzida com reduzidas emissões de carbono utilizando processos de mitigação com captura e armanamento do CO_2 dos processos.



Amônia produzida com as maiores emissões de carbono e utilizando combustíveis fósseis.



Síntese da amônia a partir do N_2 atmosférico



Guelfi et al. 2021

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

42

Amônia verde



Amônia produzida com zero emissões de carbono e produzida utilizando energia de fontes sustentáveis, como a solar, eólica, geotérmica, biomassa e das marés.

Há muito investimento na produção de **NH₃ verde** no mundo. Há planos também no Brasil

- Fertilizantes feitos a partir de NH₃ verde têm baixa pegada de C
- Como o gás natural não usado, não há produção de CO₂ no processo. A **ureia** passa não ser opção (**CO(NH₂)₂**)
- NH₃ verde também pode ser feita a partir de biometano (por exemplo, de aterros sanitários, biodigestores etc). Neste caso há também CO₂ para a produção de ureia.

Guelfi et al. 2021

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

43

Comentários finais

- O N continuará sendo o principal nutriente para aumentar a produção vegetal
- Há várias opções de novos fertilizantes no mercado
- Há potencial para aumentar a EUN, mas, custos devem ser considerados
 - **Boas práticas de manejo (4-C) de fontes convencionais muitas vezes são complementares ou alternativas a fontes mais caras**
- Os desenvolvimentos continuam: a indústria investe em inovações.

SolloAgro Webinar (Cantarella Ago 2022)

SolloAgro

ESALQ USP

44



Obrigado

Heitor Cantarella
heitor.cantarella@sp.gov.br

Silviano Nóbrega / Cantarella Ago 2022

   SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO 

IAC INSTITUTO AGRONÔMICO SUSTENTÁVEL E INOVADOR SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO