



## 2° SNPC e 5° RCOCS

II Simpósio sobre Nutrição de Plantas no Cerrado e  
V Reunião Centro-Oeste de Ciência do Solo

"Uso Eficiente de Nutrientes e Adubação de Sistemas Agrícolas"

De 01 a 04 de maio de 2018

GOIÂNIA - GO

# Eficiência de Uso de Nutrientes

Dr. Eros Francisco, IPNI Brasil



**IPNI** INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE




# Eficiência de Uso de Nutrientes: *Introdução*



**IPNI**  
Better Crops, Better Environment  
...through Science





**Sem adição de nutrientes  
(fertilidade natural)**

**Com adição de nutrientes  
(fertilidade construída)**

**O que é uso eficiente de nutrientes?**

*É a medida do ganho em produção por unidade de nutriente aplicado.  
(Lopes & Guilherme, 2000)*

## Indicadores da Eficiência de Uso de Nutrientes

(i) *Fator de Produtividade Parcial*:  $\frac{\text{Produtividade (P)}}{\text{Fertilizante (F)}}$  Ex: 40-80 kg/kg N

(ii) *Eficiência Agronômica*:  $\frac{P - P_0}{F}$  Ex: 10-30 kg/kg N

(iii) *Balanço Parcial do Nutriente*:  $\frac{\text{Exportação (Exp)}}{F}$  Ex: <1 ou >1

(iv) *Recuperação Aparente do Nutriente*:  $\frac{\text{Exp} - \text{Exp}_0}{F}$  Ex: 0,5-0,8 (N adequado em cereais)



# A qualquer custo? Que aspectos considerar?

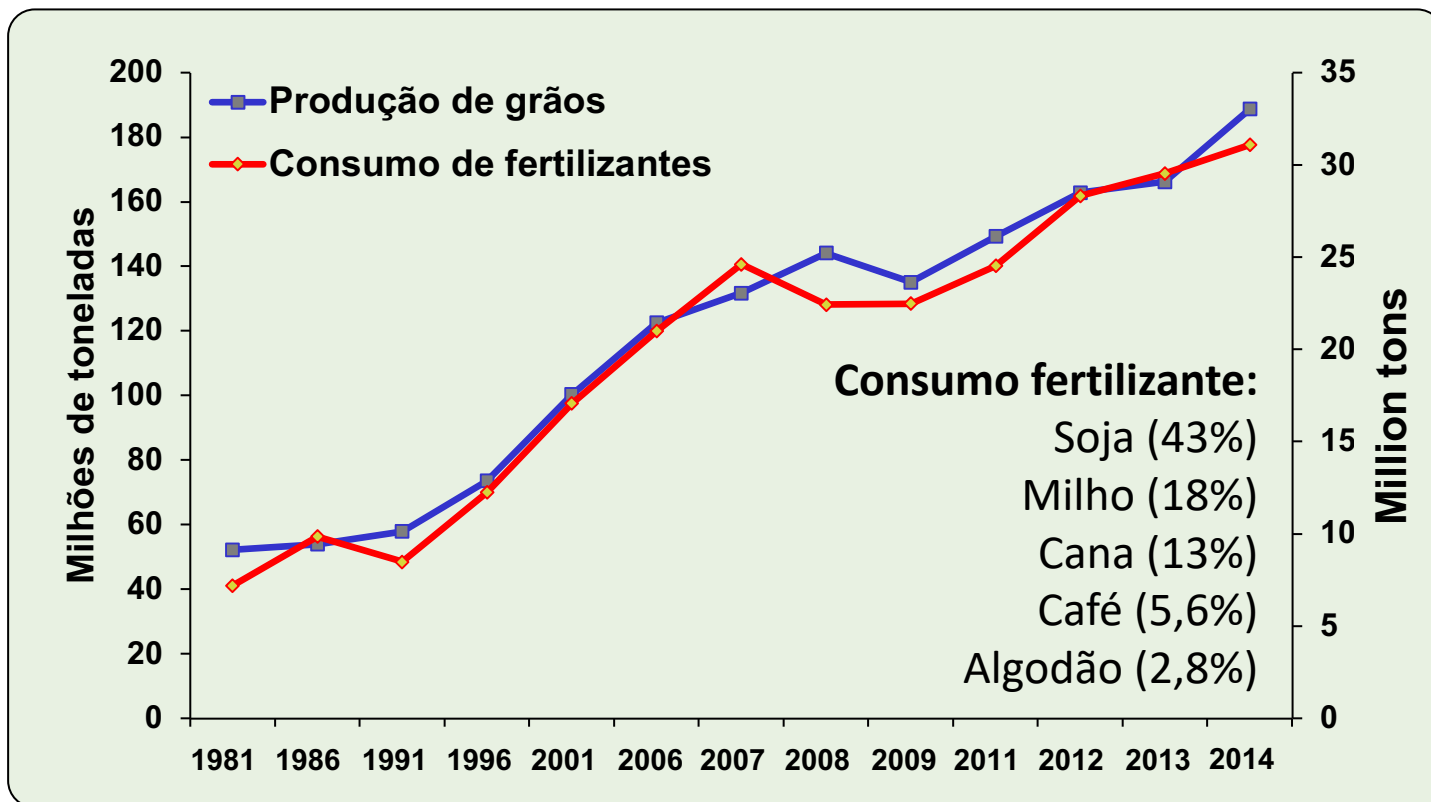
## Econômico

## Ambiental

## Social



# Produção total de grãos e consumo de fertilizantes no Brasil



**2017**  
 237 M ton (grão)  
 34 M ton (fertilizante)

**Consumo fertilizante:**  
 Soja (43%)  
 Milho (18%)  
 Cana (13%)  
 Café (5,6%)  
 Algodão (2,8%)

Fonte: ANDA e CONAB (2015),

Cotton seed, peanut, rice, barley, canola, rye, oak, beans, sunflower, castorbeans, maize, soybean, sorghum, and wheat.

## Balanço de nutrientes na agricultura brasileira (2009-2012): média anual

| Balanço de Nutrientes  | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|--|------------|-------------------------------|------------------|
|  | (t)        |                               |                  |
| Exportação total das culturas (t)                                    | 6.551.280  | 1.853.162                     | 3.286.358        |
| Dedução das exportações (t)  | 4.706.923  | 4.428.250                     | 193.566          |
| Exportação líquida de nutrientes (I)                                 | 1.844.357  | 1.848.734                     | 3.092.792        |
| Total de entradas de nutrientes (II)                                 | 2.836.820  | 3.467.034                     | 3.790.569        |
| Balanço de nutrientes (II - I)                                       | 992.463    | 1.618.300                     | 697.777          |
| <b>Desfrute médio obtido com o uso de fertilizantes (I/II x 100)</b> | <b>65%</b> | <b>53%</b>                    | <b>82%</b>       |
| Fator de consumo (II/I)  | 1,5        | 1,9                           | 1,2              |

Fonte: Cunha et al. – Informações Agronômicas, março/2014



## Balanço de nutrientes na agricultura brasileira (2009-2012): Cerrado

| Região/Estado       | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|---------------------|------------|-------------------------------|------------------|
|                     | (% )       |                               |                  |
| <b>Centro-oeste</b> | <b>61</b>  | <b>56</b>                     | <b>84</b>        |
| <b>MG</b>           | <b>42</b>  | <b>36</b>                     | <b>49</b>        |
| <b>BA</b>           | <b>57</b>  | <b>34</b>                     | <b>65</b>        |
| <b>MA</b>           | <b>120</b> | <b>41</b>                     | <b>81</b>        |
| <b>PI</b>           | <b>88</b>  | <b>44</b>                     | <b>77</b>        |
| <b>TO</b>           | <b>84</b>  | <b>56</b>                     | <b>98</b>        |
| <b>Cerrado</b>      | <b>75</b>  | <b>45</b>                     | <b>75</b>        |

Fonte: Cunha et al. – Informações Agronômicas, março/2014



## Balanço de nutrientes na agricultura brasileira (2009-2012): por cultura

| Cultura        | Desfrute médio (%) |                               |                  |
|----------------|--------------------|-------------------------------|------------------|
|                | N                  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Soja           | -                  | 50                            | 99               |
| Milho          | 79                 | 96                            | 65               |
| Cana de açúcar | 80                 | 70                            | 67               |
| Café           | 20                 | 11                            | 45               |
| Algodão        | 44                 | 16                            | 58               |
| Arroz          | 103                | 74                            | 91               |
| Feijão         | 67                 | 35                            | 115              |
| Laranja        | 51                 | 28                            | 67               |
| Trigo          | 58                 | 48                            | 35               |

Fonte: Cunha et al. – Informações Agronômicas, março/2014



# Eficiência de Uso de Nutrientes: *Aspecto básicos*



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

**IPNI**

Better Crops, Better Environment  
...through Science



**IPNI** INTERN



## Características dos fertilizantes e corretivos

- **Natureza física** (estado físico, granulometria, dureza, fluidez, densidade)
- **Natureza química** (# nutrientes, forma química e concentração dos nutrientes)
- **Natureza físico-química** (solubilidade, higroscopicidade, empedramento, salinidade)





# Características do solo



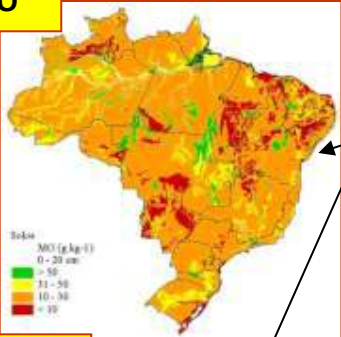
## Características do solo

**Características físicas (textura, estrutura e porosidade) afetam o armazenamento de água e nutrientes, a mobilidade de íons e as perdas de nutrientes via lixiviação ou erosão**

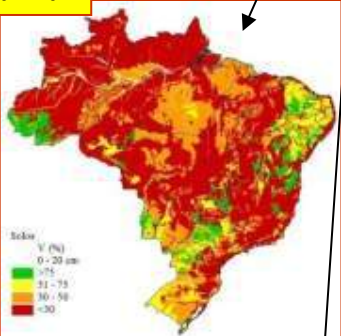
- ✓ **Textura:** necessidade de maior número de parcelamento das adubações NK, determinação da dose P corretiva, avaliação da maior ou menor CAD do solo, determinação da dose de calcário, maior ou menor probabilidade de deficiências de micros, avaliação de doses de gesso na melhoria do ambiente radicular.
- ✓ **Estrutura e porosidade:** maior ou menor predisposição às perdas por erosão, problemas de impedimento físicos ao desenvolvimento de raízes, potencial de lixiviação, etc.



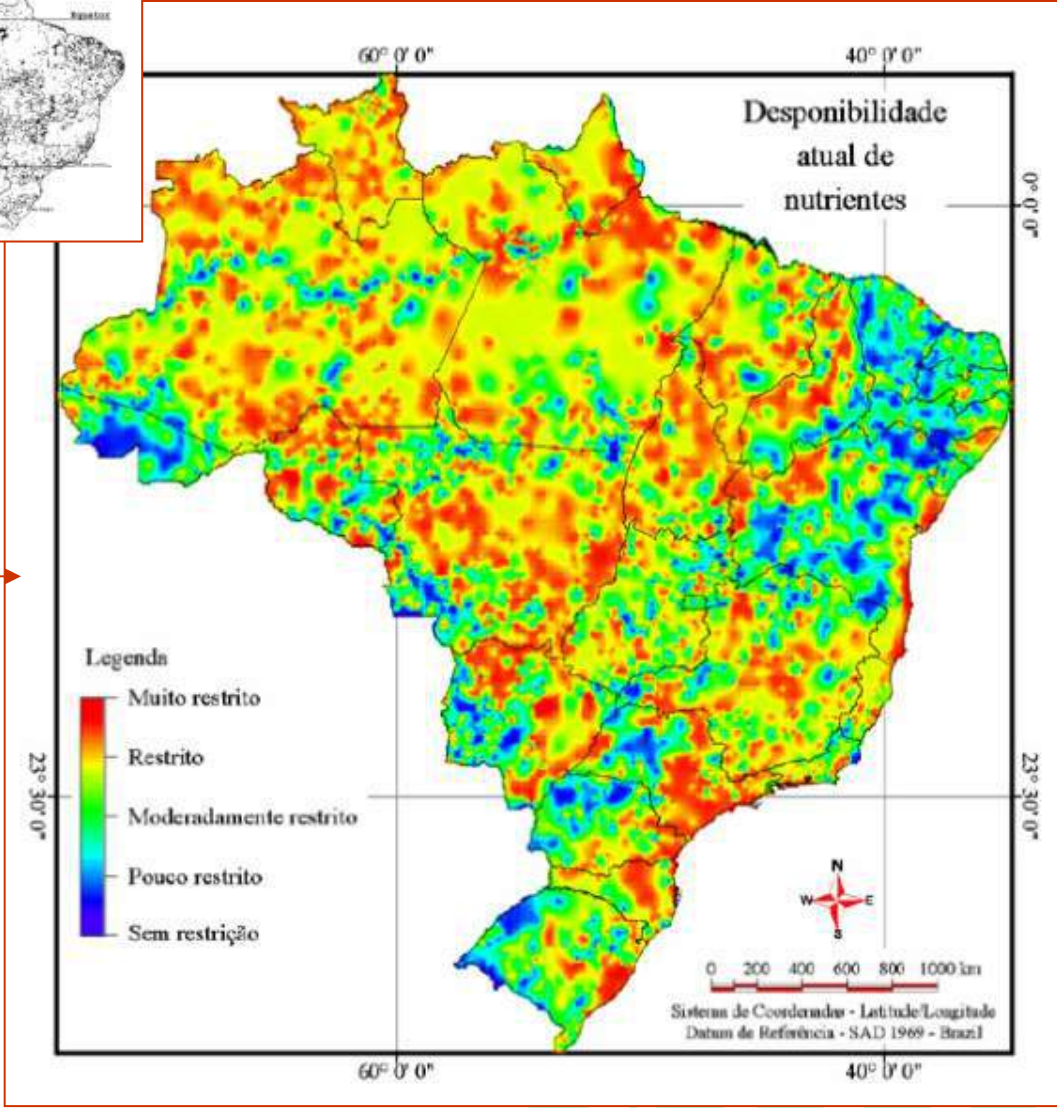
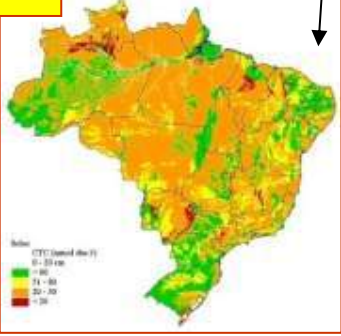
**MO**



**SB (V%)**

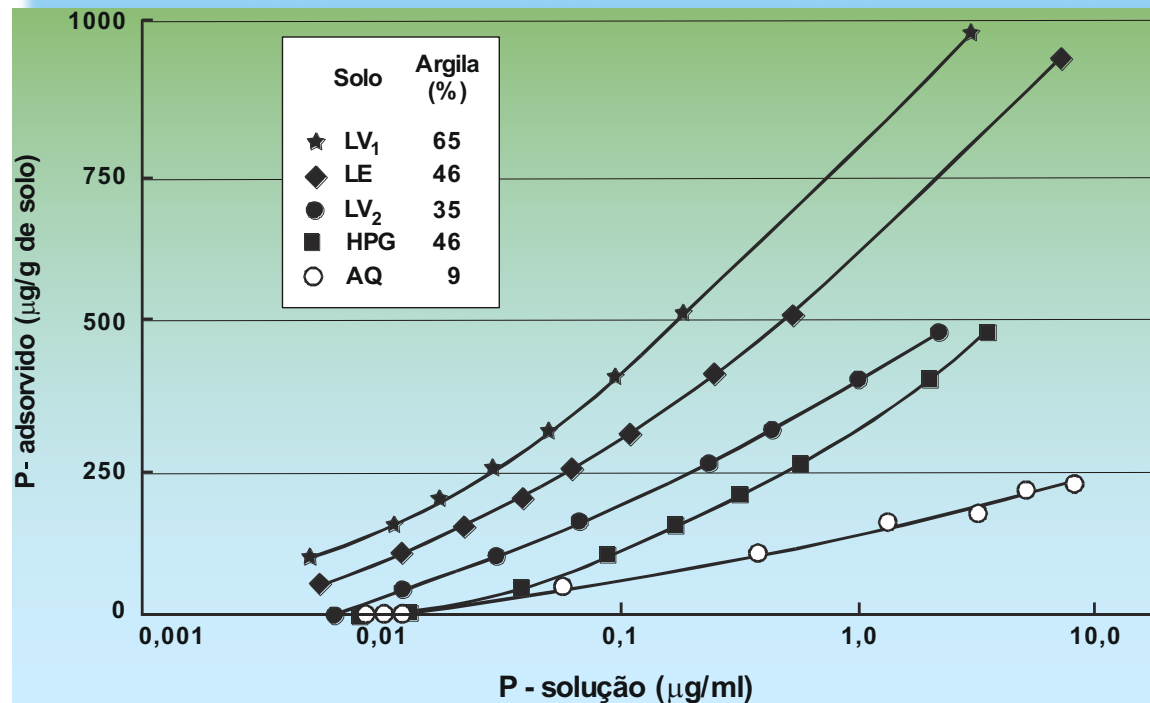


**CTC**



**Classes de restrição dos solos brasileiros em relação à fertilidade do solo (Sparovek et al.).**

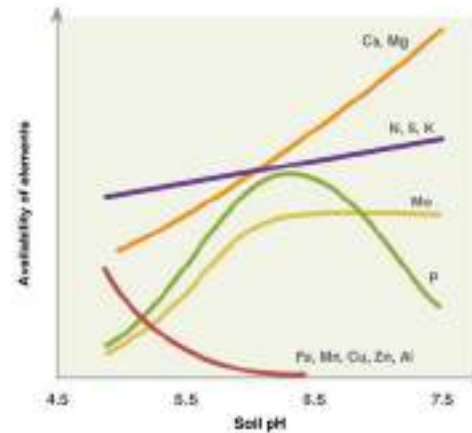
# Capacidade de fixação de P



## Práticas para reduzir o problema:

- ✓ Calagem: manutenção de pH adequado
- ✓ SPD: resíduos culturais podem ajudar a acumular MO
- ✓ Promover atividade microbiana: microrizas
- ✓ Local de aplicação P: reduzir o contato com o solo

# pH do solo



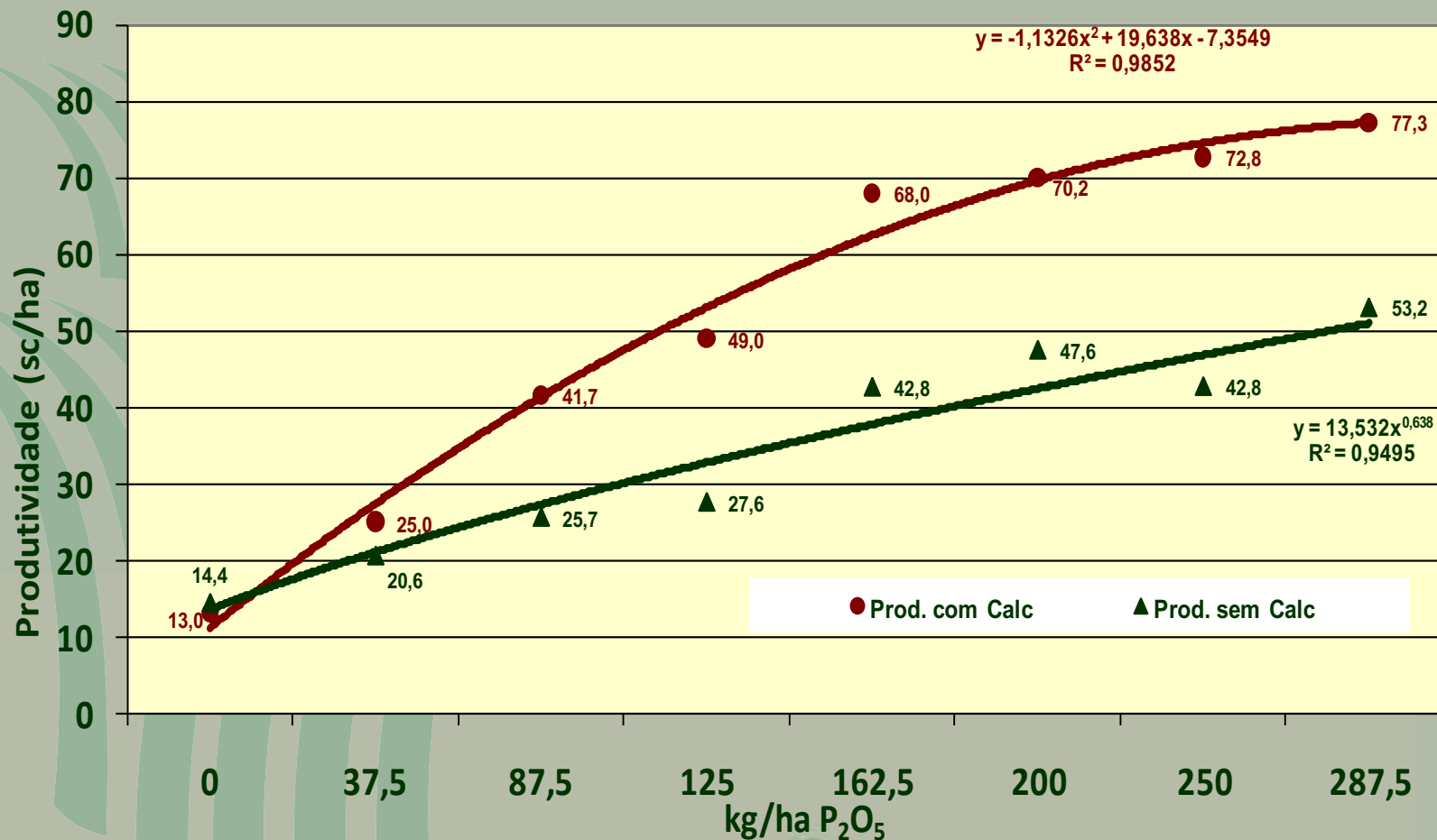
Quadro 1 – Estimativa de variação percentual na assimilação dos principais nutrientes pelas plantas, em função do pH do solo.

| Elementos         | pH          |             |             |             |             |            |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                   | 4,5         | 5,0         | 5,5         | 6,0         | 6,5         | 7,0        |
| <b>Nitrogênio</b> | 20          | 50          | 75          | 100         | 100         | 100        |
| <b>Fósforo</b>    | 30          | 32          | 40          | 50          | 100         | 100        |
| <b>Potássio</b>   | 30          | 35          | 70          | 90          | 100         | 100        |
| <b>Enxofre</b>    | 40          | 80          | 100         | 100         | 100         | 100        |
| <b>Cálcio</b>     | 20          | 40          | 50          | 67          | 83          | 100        |
| <b>Magnésio</b>   | 20          | 40          | 50          | 70          | 80          | 100        |
| <b>Médias</b>     | <b>26,7</b> | <b>46,2</b> | <b>64,2</b> | <b>79,5</b> | <b>93,8</b> | <b>100</b> |

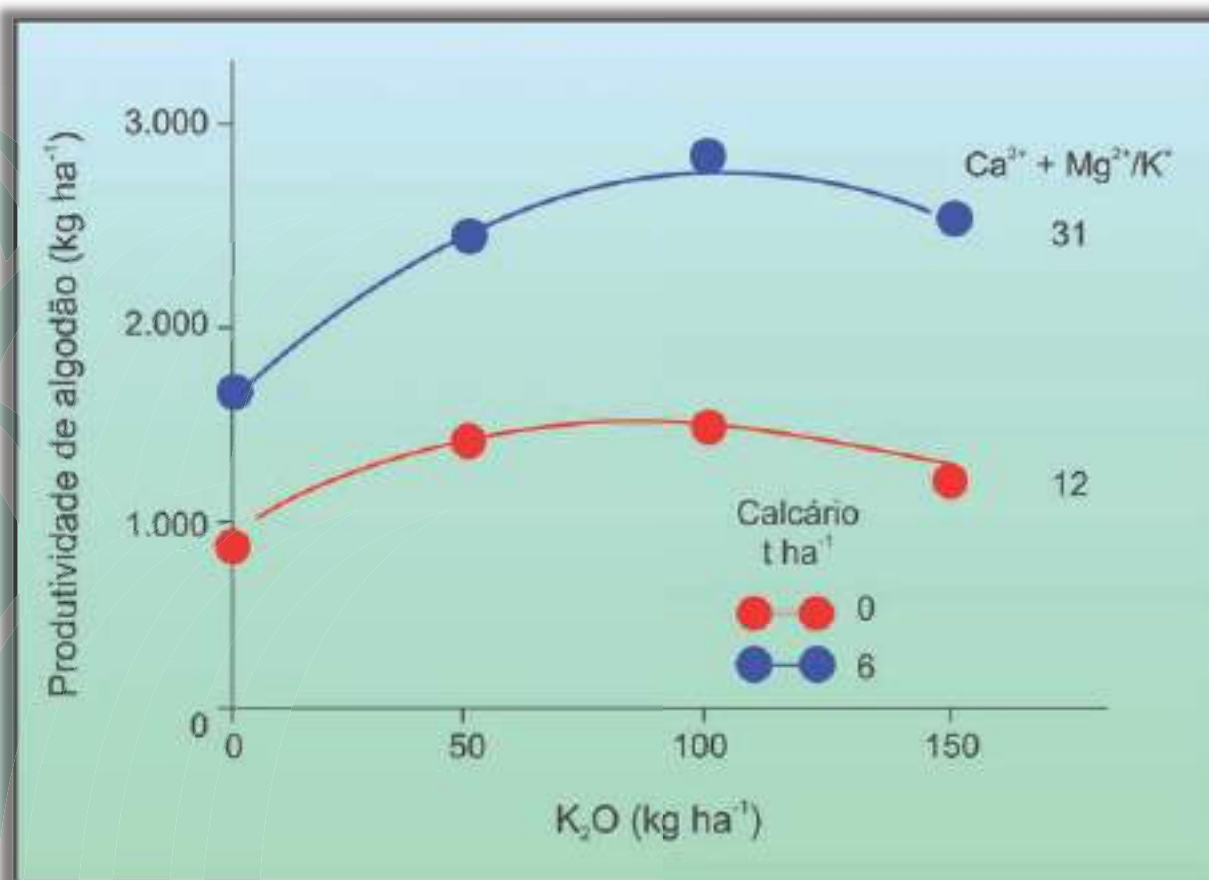
Fonte: EMBRAPA (1980)

# Efeito da correção da acidez na produtividade das culturas

Produtividade da soja em função da quantidade de fósforo aplicada no sulco de plantio, em solo argiloso. 1º ano de cultivo. Safra 1999/2000, Sapezal-MT.



# Influência da adubação potássica na produtividade de algodão, de acordo com o equilíbrio de bases do solo, sem e com calagem



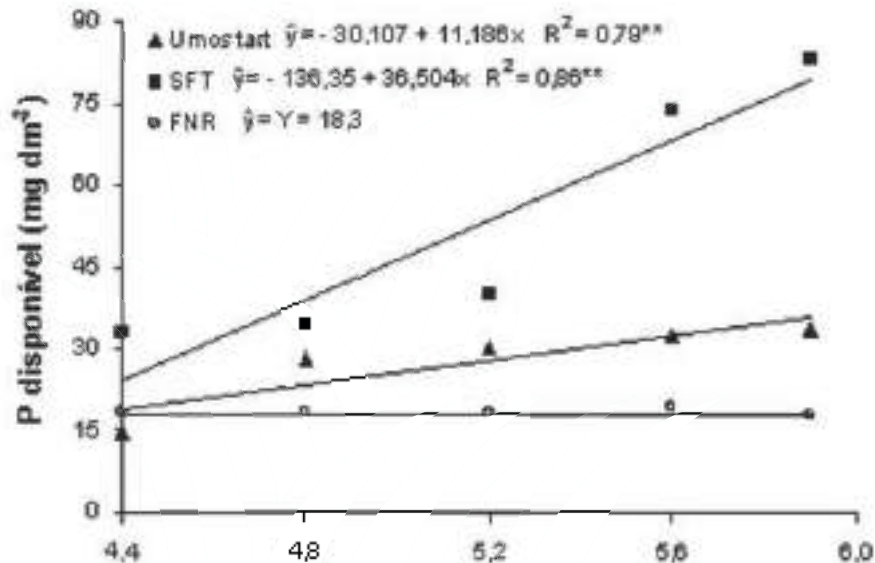
Fonte: Silva e outros (1984).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

# Efeito da correção da acidez na produtividade das culturas

pH solo x fonte P



Fonte: Zoz et al., 2009. pH do solo

pH solo x nodulação





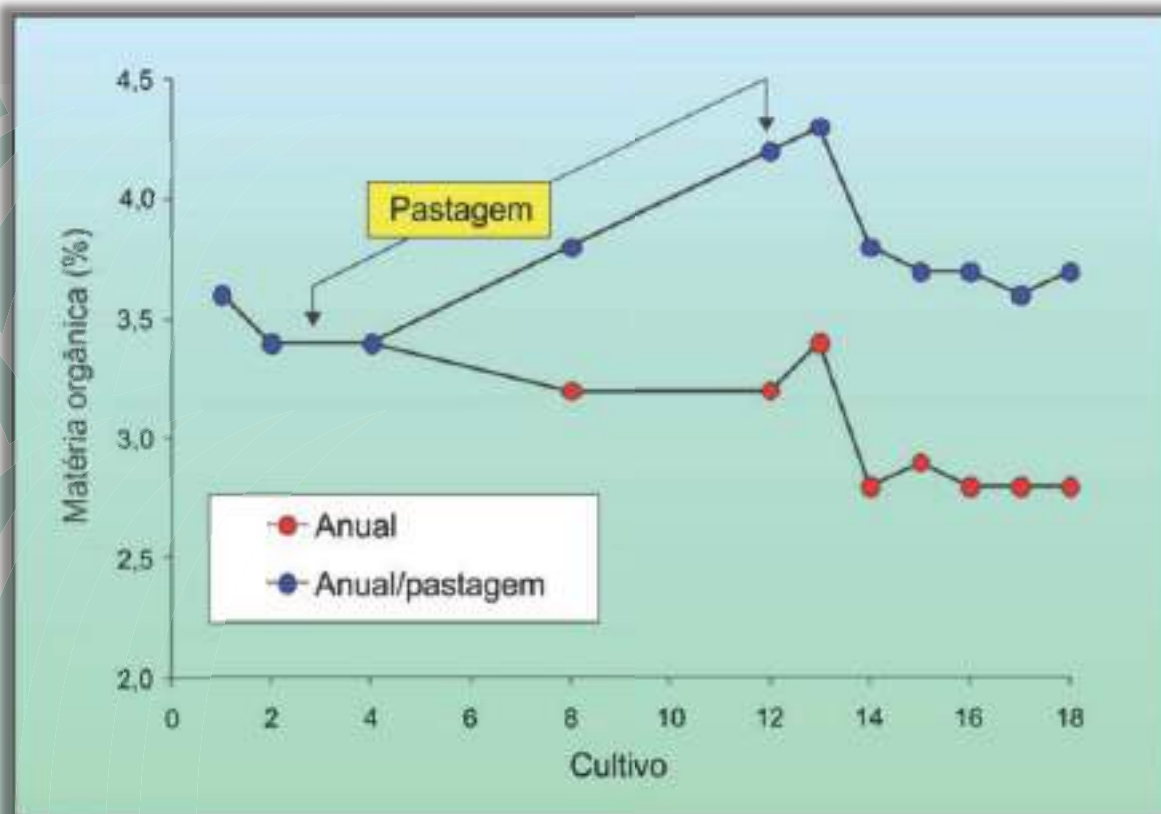
# **MATÉRICA ORGÂNICA**

## Contribuição da matéria orgânica do solo na CTC de solos de diferentes ambientes do território brasileiro

| Região              | Classes de solos avaliadas (nº) | % da CTC devida à matéria orgânica do solo | Fonte                         |
|---------------------|---------------------------------|--|-------------------------------|
| Estado de São Paulo | 16                              | 70 a 74                                    | Raij (1969)                   |
| Estado do Paraná    | 12                              | 75 a 90                                    | Pavan, Bingham e Pratt (1985) |
| Cerrados            | 14                              | 75 a 85                                    | Resck (1998)                  |



**Dinâmica da matéria orgânica na camada de 0-20 cm de profundidade para os sistemas de cultivo anual-pastagem, em um período de 18 anos, em Latossolo muito argiloso (médias de 24 tratamentos com três repetições, em cada sistema)**



# Recuperação de P LA muito argiloso, 22 anos

| S.simples aplicado                     | Fósforo recuperado  |                             |
|--|---------------------|-----------------------------|
|  | anuais <sup>1</sup> | anuais e capim <sup>2</sup> |
| kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | ----- % -----       |                             |
| 100                                    | <b>44</b>           | <b>85</b>                   |
| 200                                    | <b>40</b>           | <b>82</b>                   |
| 400                                    | <b>35</b>           | <b>70</b>                   |
| 800                                    | <b>40</b>           | <b>62</b>                   |

<sup>1</sup> A área foi cultivada por dez anos com soja, seguida de um plantio com milho e quatro ciclos da seqüência milho-soja, dois cultivos de milho e um de soja.

<sup>2</sup> A área foi cultivada por dois anos com soja, seguida de nove anos com braquiária mais dois anos com soja e dois ciclos da seqüência milho-soja, e cinco anos com braquiária.

Extraído de Djalma Martinhão.

## Fonte, Dose, Época e Local Certos

### Atenção equilibrada para todos os 4Cs

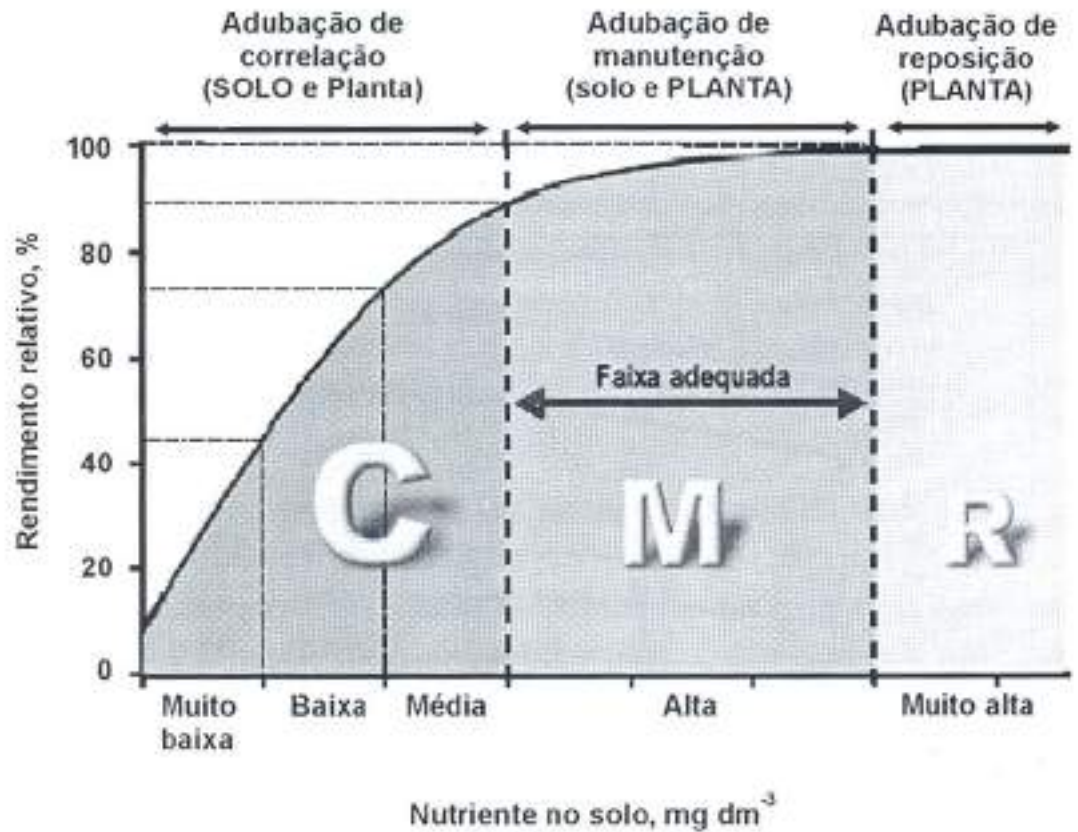
- ✓ Dose: superenfatuada
- ✓ Fonte, Época e Local: geralmente, requerem maiores mudanças e investimentos

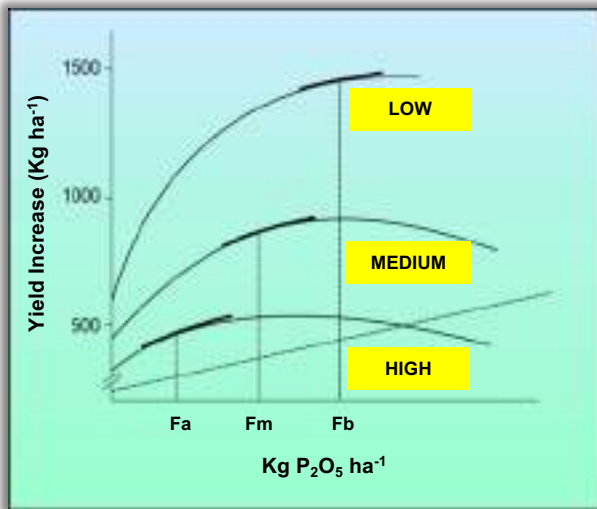
### Os 4Cs estão conectados

- ✓ Entre si
- ✓ Com os fatores locais de clima e solo
- ✓ Com o manejo do solo e das culturas (pasto)
- ✓ Outros fatores podem limitar a produtividade mesmo quando os níveis dos nutrientes estão adequados



# Dose Certa





# Tabela de Adubação

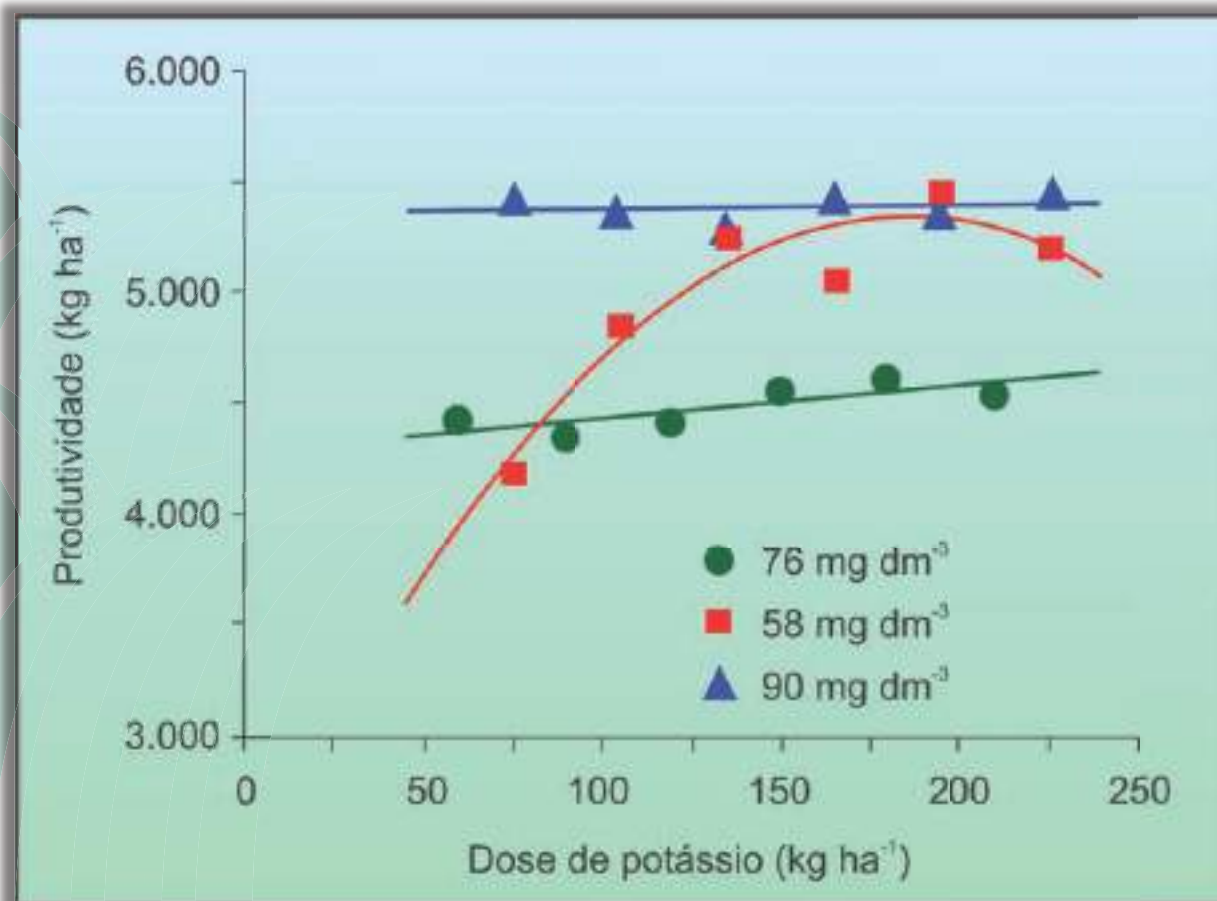
**Adubação mineral de plantio: Aplicar de acordo com a análise de solo e a produtividade esperada.**

| Yield | Nitrogênio | P resina, mg/dm <sup>3</sup>          |      |       |     | K <sup>+</sup> trocável, mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> |         |         |      |
|-------|------------|---------------------------------------|------|-------|-----|---|---------|---------|------|
|       |            | 0-6                                   | 7-15 | 16-40 | >40 | 0-0,7   | 0,8-1,5 | 1,6-3,0 | >3,0 |
| t/ha  | N, kg/ha   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha |      |       |     | K <sub>2</sub> O, kg/ha (²)                                 |         |         |      |
| 2-4   | 10         | 60                                    | 40   | 30    | 20  | 50  | 40      | 30      | 0    |
| 4-6   | 20         | 80                                    | 60   | 40    | 30  | 50  | 50      | 40      | 20   |
| 6-8   | 30         | 90                                    | 70   | 50    | 30  | 50  | 50      | 50      | 30   |
| 8-10  | 30         | (¹)                                   | 90   | 60    | 40  | 50  | 50      | 50      | 40   |
| 10-12 | 30         | (¹)                                   | 100  | 70    | 50  | 50  | 50      | 50      | 50   |

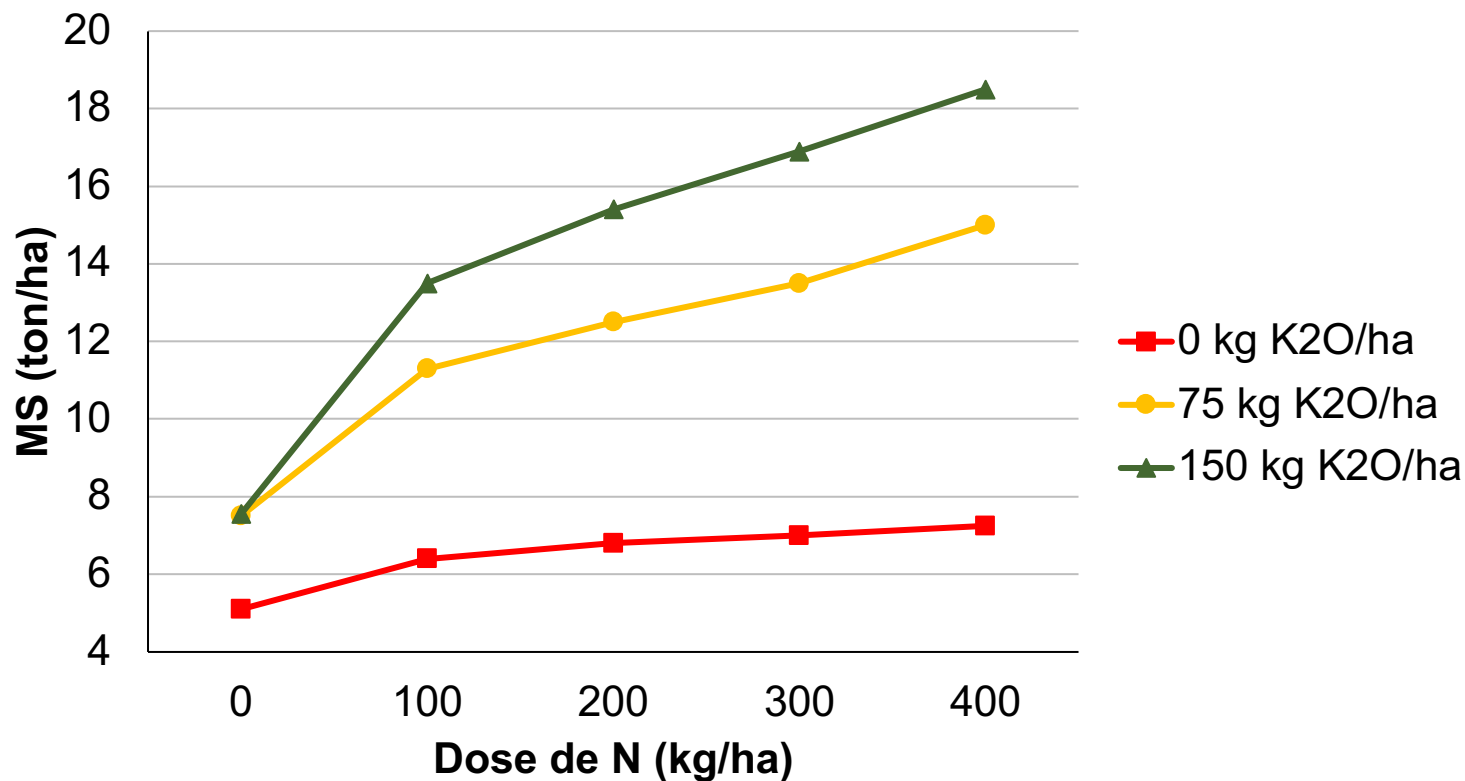
**IMPORTANTE NOTAR QUE:**  
 A DOSE É DEFINIDA POR ESTUDOS DE CURVA DE RESPOSTA, PARA CADA CLASSE DE TEOR (ESTUDOS DE CALIBRAÇÃO), PARA DETERMINADO MÉTODO ANALÍTICO (ESTUDOS DE CORRELAÇÃO), PARA DETERMINADA FORMA DE COLETA DA AMOSTRA DE SOLO.

Fonte: Raij et al, 1996.

**Resposta do algodoeiro ao potássio em experimentos realizados no Estado de Mato Grosso, em solos com 58 mg dm<sup>-3</sup>, 76 mg dm<sup>-3</sup> e 90 mg dm<sup>-3</sup> de potássio**

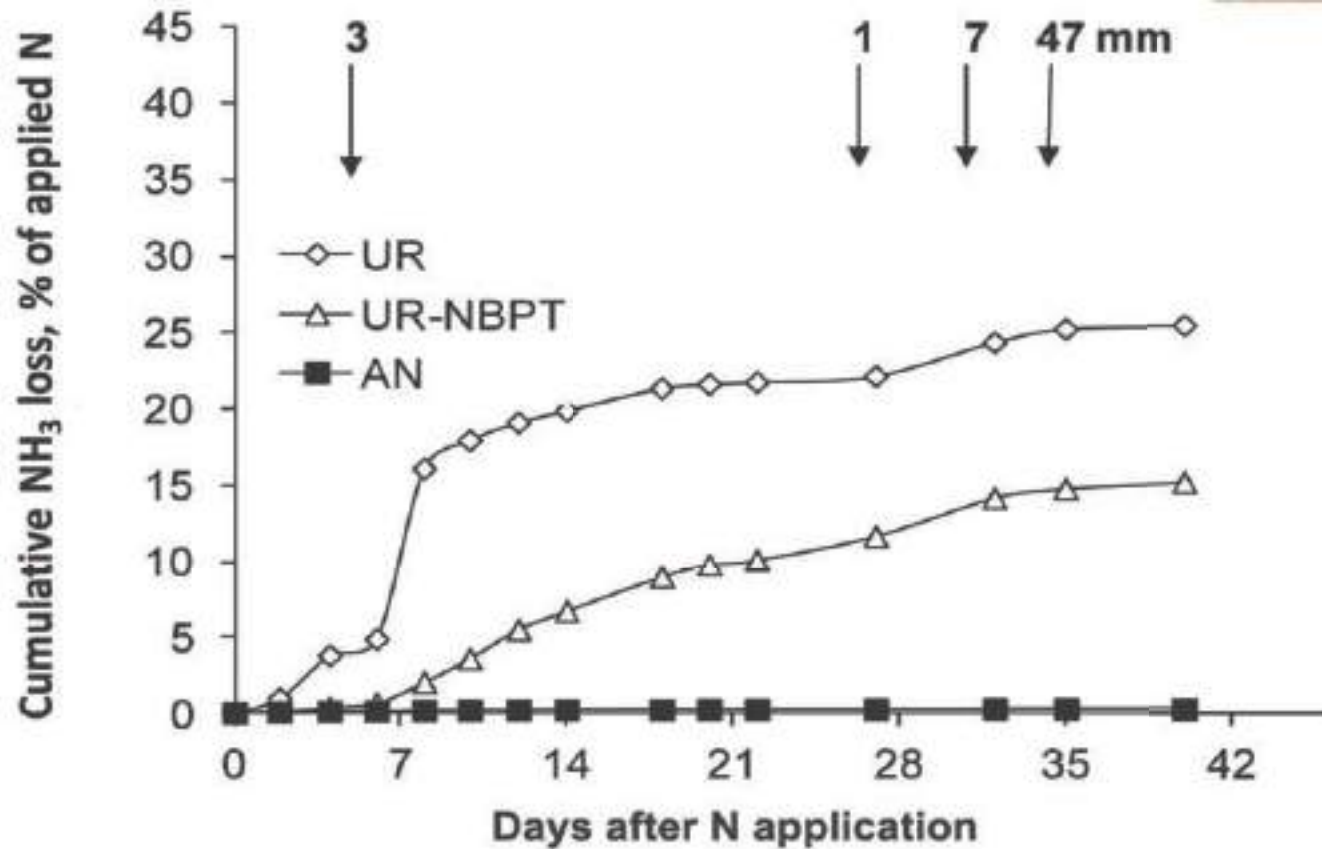


## Matéria seca acumulada de capim *Brachiaria* em resposta à adubação NK



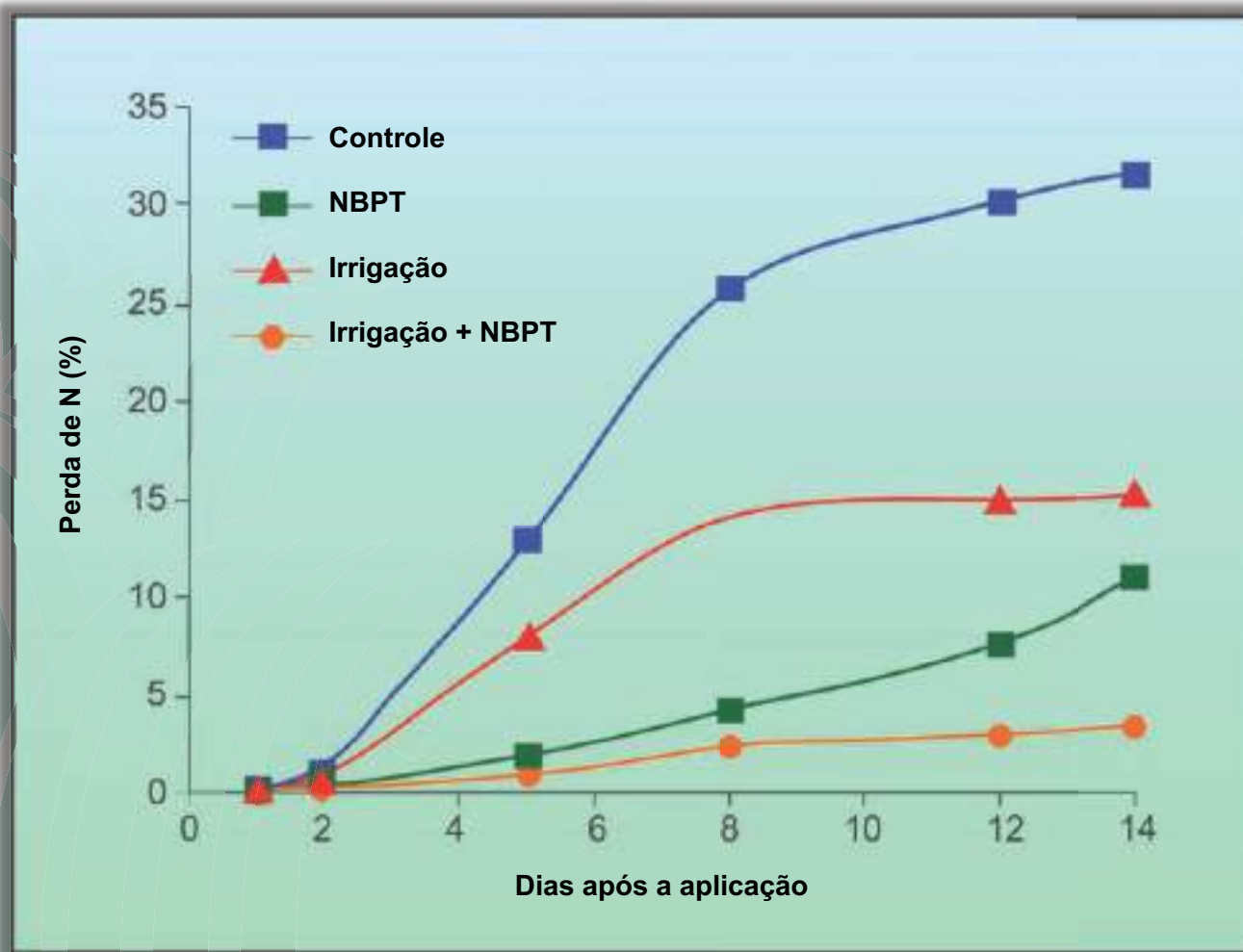
Fonte: Carvalho et al. (1991).

# Fonte Certa



Fonte: Cantarella et al. (2008).

# Efeito do N-(*n*-butyl) triamida tiofosfórico (NBPT) e chuva simulada (2,0 cm no dia 4 e no dia 7) sobre as perdas de volatilização da superfície aplicada ureia

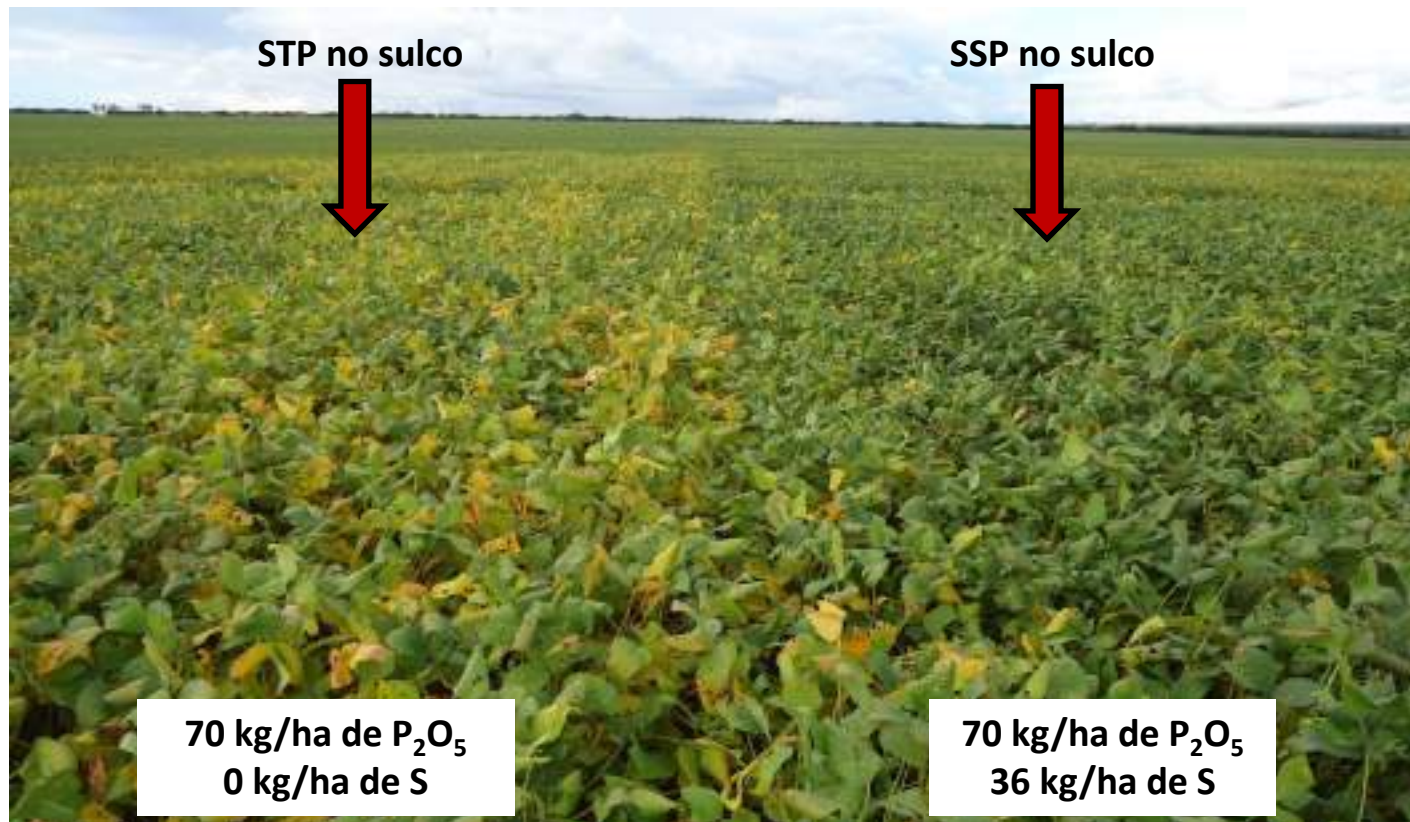


Fonte: Rawluk, Grant e Racz (2000).

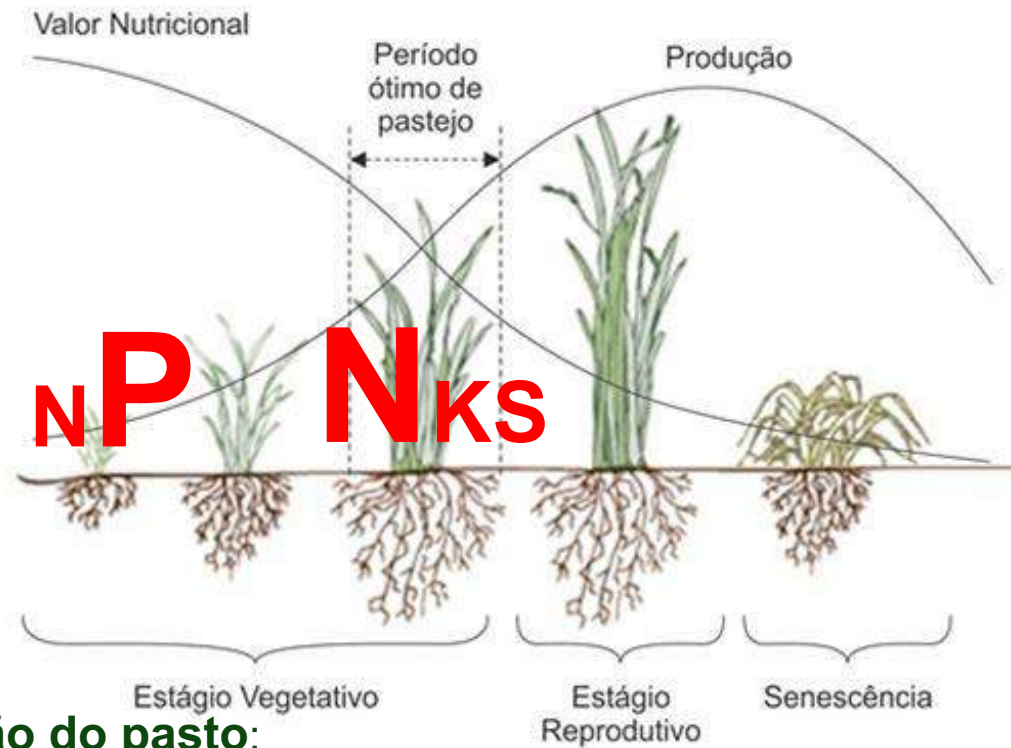


IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

## Efeito da fonte de S na produtividade de soja



# Época Certa



## Formação do pasto:

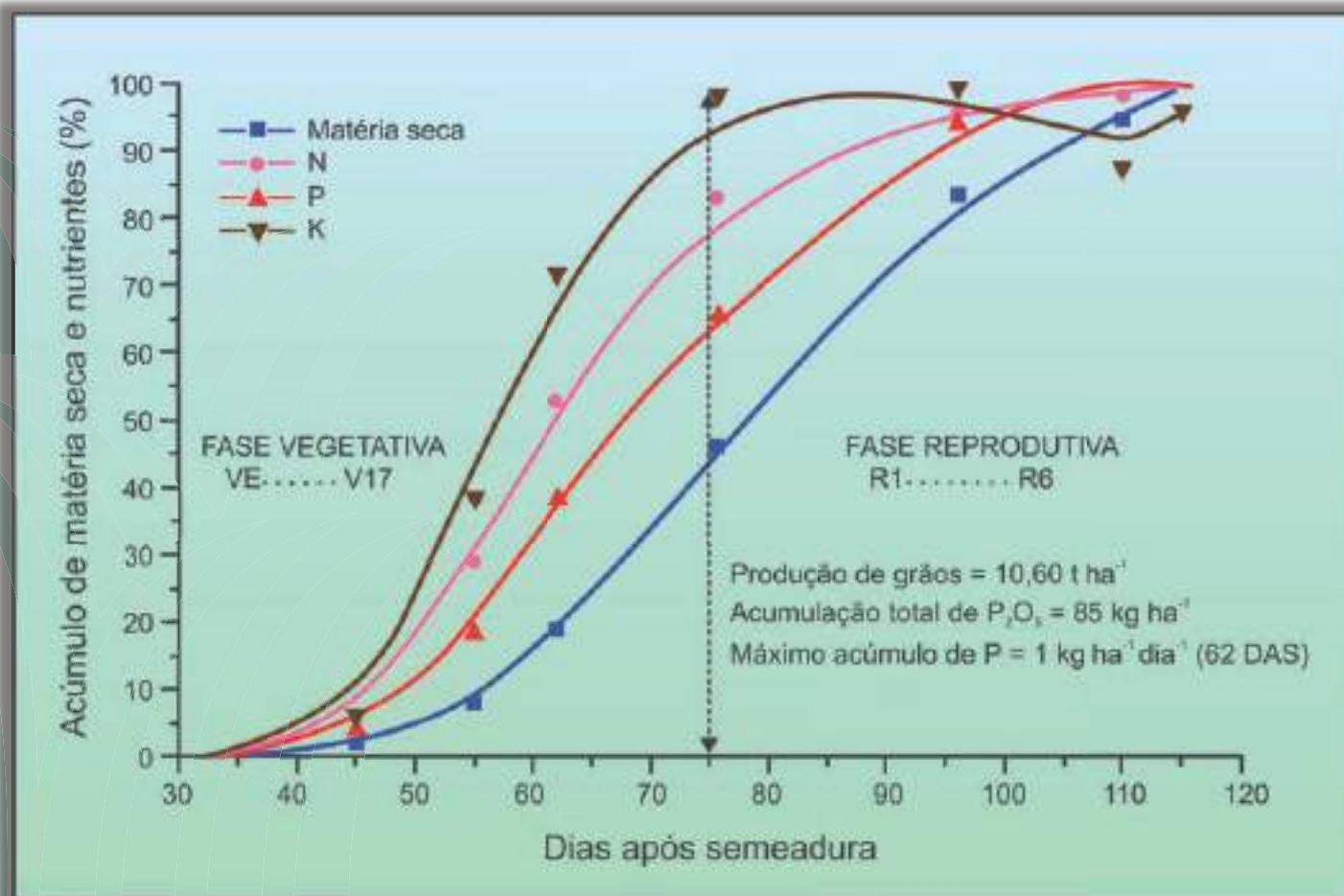
- Enraizamento rápido e sistema radicular vigoroso
- Estabelecimento de plantas rápido e boa formação de touceiras
- Alicerce para resposta à adubação nitrogenada

## Manutenção do pasto:

- Produção de forragem
- Qualidade nutricional da forragem
- Resistência aos períodos de estresse hídrico



# Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho



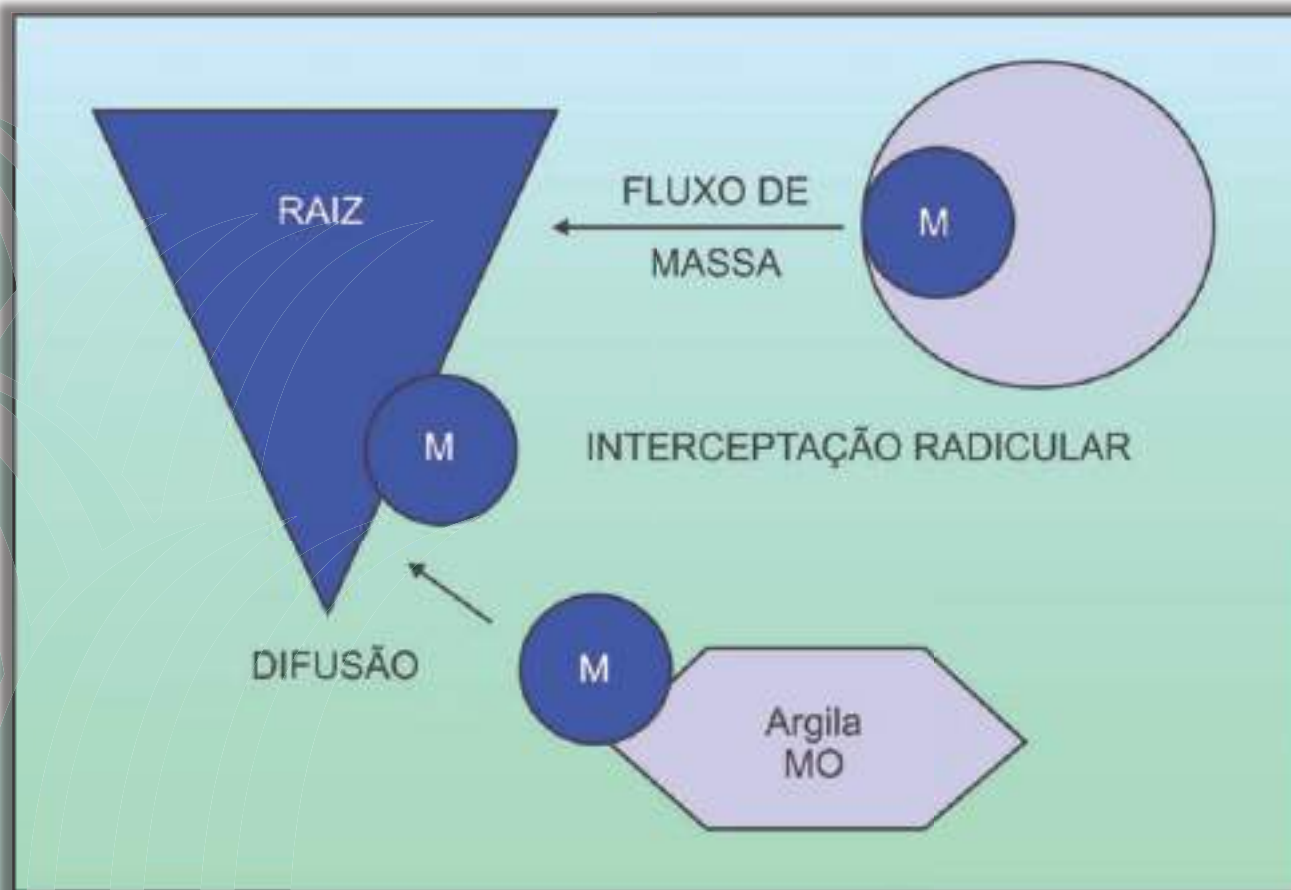
# Local Certo



Composição granulométrica da formulação 20-00-20 em função da largura da faixa de aplicação.

Fonte: Leandro Gimenez, Fundação MT (2012).

# Representação esquemática dos mecanismos de contato íon-raiz



## Relação entre o processo de contato e a localização dos nutrientes

| Elemento                | Processo de contato (% do total) |                |         | Aplicação do fertilizante        |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|---------|----------------------------------|
|                         | Interceptação radicular          | Fluxo de massa | Difusão |                                  |
| Nitrogênio              | 1                                | 99             | 0       | Distante, em cobertura (parte)   |
| Fósforo                 | 2                                | 4              | 94      | Próximo das raízes               |
| Potássio                | 3                                | 25             | 72      | Próximo das raízes, em cobertura |
| Cálcio                  | 27                               | 73             | 0       | A lanço                          |
| Magnésio                | 13                               | 87             | 0       | A lanço                          |
| Enxofre                 | 5                                | 95             | 0       | Distante, em cobertura (parte)   |
| Boro                    | 3                                | 97             | 0       | Distante, em cobertura (parte)   |
| Cobre <sup>1</sup>      | 15                               | 5              | 80      | Próximo das raízes               |
| Ferro <sup>1</sup>      | 40                               | 10             | 50      | Próximo das raízes               |
| Manganês <sup>1</sup>   | 15                               | 5              | 80      | Próximo das raízes               |
| Zinco <sup>1</sup>      | 20                               | 20             | 60      | Próximo das raízes               |
| Molibdênio <sup>2</sup> | 5                                | 95             | 0       | Em cobertura (parte)             |

(1) Complementação com aplicação foliar.

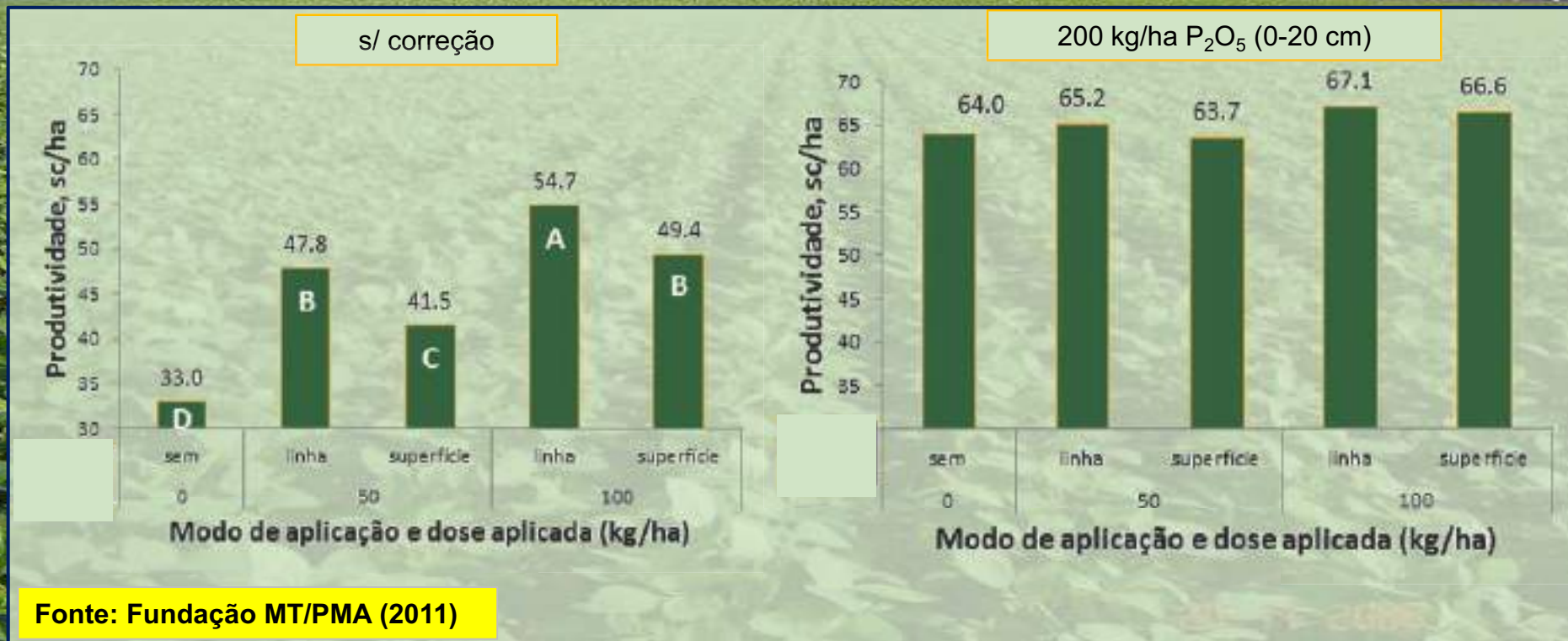
(2) Aplicação via semente e/ou foliar.

# Adubação fosfatada em superfície

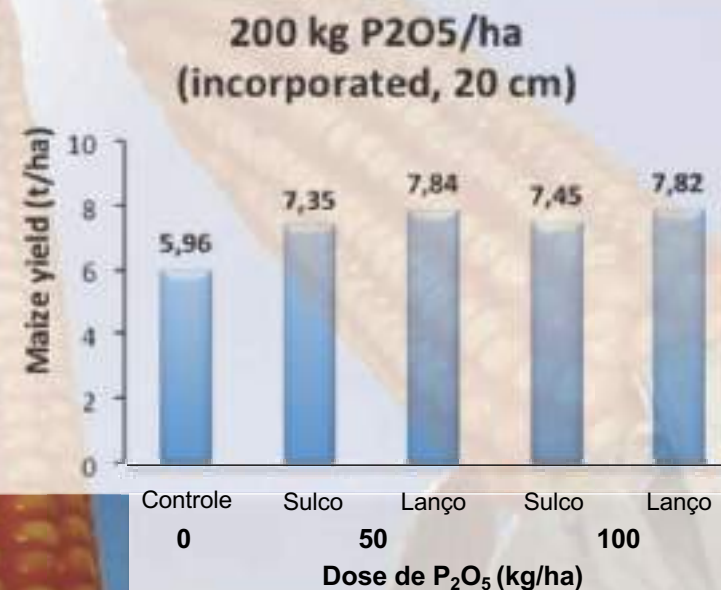
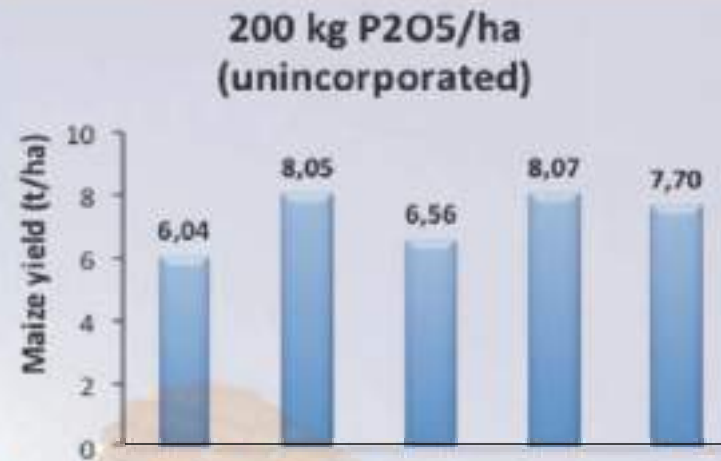
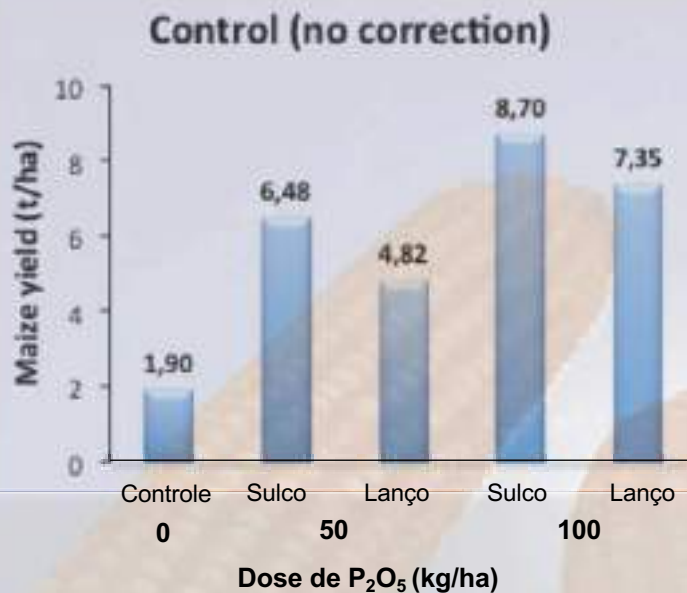


# Adubação fosfatada em superfície

Dose e modo de aplicação de P em diferentes níveis de correção do solo (teor original de P: 3 mg/dm<sup>3</sup>)

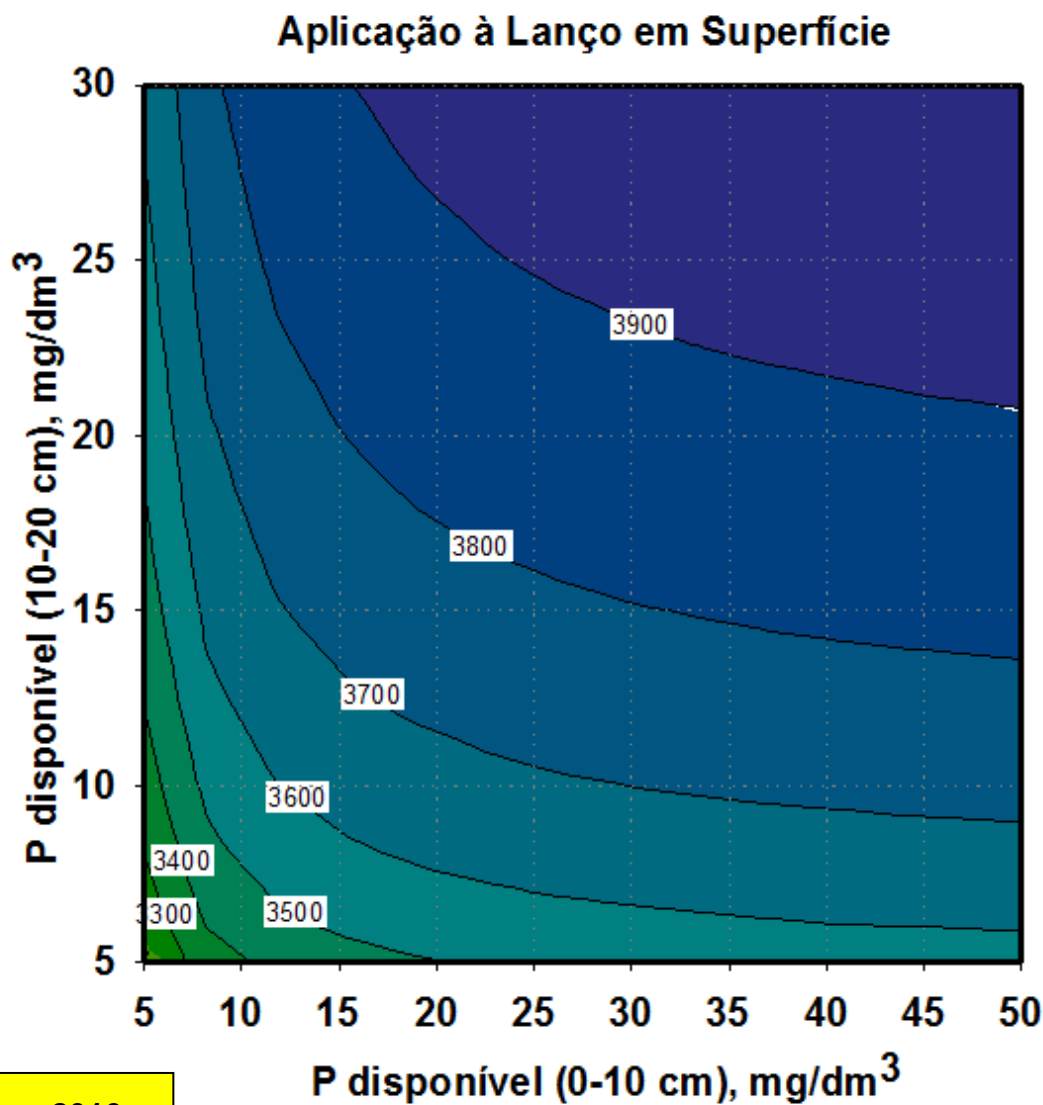


# Adubação fosfatada em superfície



Fonte: Fundacao MT (2014).

# Adubação fosfatada em superfície



Fonte: Oliveira Jr e Castro, 2016.



# Qualidade operacional de aplicação



# **Eficiência de Uso de Nutrientes:** *Efeitos indiretos do sistema*



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

**IPNI**

Better Crops, Better Environment  
...through Science



**IPNI** INTERN



# Os sistemas de produção estão cada vez mais complexos ...



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
Goiânia - GO



# Falhas no sistema: *desafios a serem superados*



16 a 20  
outubro  
2016

Centro de  
Convenções de  
Goiânia - GO



# Manejo atual x eficiência da adubação

**Necessidade de repensar!!  
Facilidade  
X  
Perda de nutrientes**



O primeiro “nutriente” a ser perdido é a matéria orgânica, que não se compra, mas se maneja. Ela é que condiciona a eficiência de todos os processos do solo!!!!

# Manejo atual x eficiência da adubação

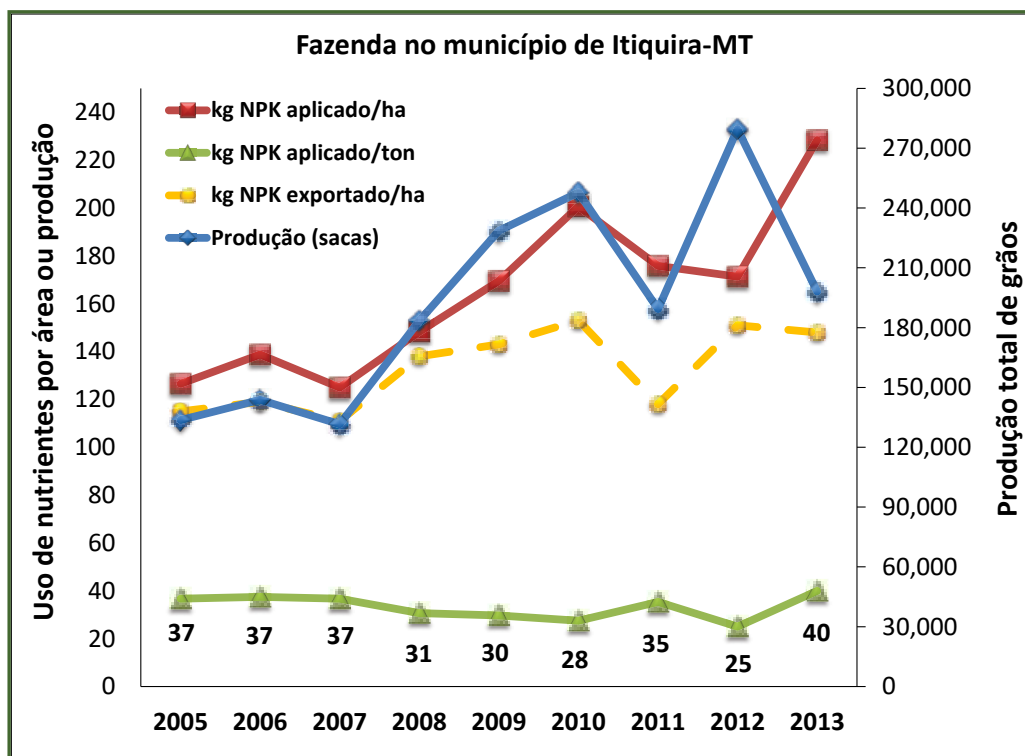


**Terraços?**



**Facilidades x  
Perdas de nutrientes**

# Balanço de nutrientes na propriedade: *eficiência de uso*



| Parâmetro                | Média   |
|--------------------------|---------|
| Produção total (sc)      | 192.859 |
| NPK aplicado/ha          | 165     |
| NPK aplicado/ton         | 33      |
| NPK exportado/ha         | 133     |
| Balanço<br>(NPKa - NPKe) | 32      |

Fonte: Joel Hillesheim (2013)

## Efeito de diferentes coberturas vegetais para o milho

**Tabela 1.** Produtividade média de milho e eficiência de uso de N em função do tipo de cobertura de solo, na região sul de Mato Grosso

| Cobertura            | Produtividade de milho<br>kg ha <sup>-1</sup> |   | Eficiência de uso de N<br>kg kg <sup>-1</sup> |   |
|----------------------|---|---|---|---|
| Pousio               | 10.044  | B | 149,0   | B |
| Milheto              | 11.450  | A | 170,8   | A |
| Crotalária           | 11.846  | A | 177,2   | A |
| C.V.(%)              | 6,6   |   | 9,9   |   |
| DMS <sub>Tukey</sub> | 684   |   | 15,2  |   |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,1).

Fonte: Francisco et al. (2011).



IPNI INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

## Práticas de manejo para aumentar a EUN

| Nutriente  | Prática  | Efeito  |
|------------|--|---|
| <b>NPK</b> | Análise de solo  | Determinar a dose certa   |
|            | Análise de planta  | Ajustar a recomendação e avaliar o estado nutricional   |
|            | Controle de erosão                                       | Evitar perdas de nutriente e solo   |
|            | Uso de cultivares com >EUN e mais responsivas à adubação | Facilitar absorção de nutrientes em níveis baixos, aumentar a resposta da planta ao nutriente aplicado, melhorar a conversão do nutriente em produção |
| <b>N</b>   | Calagem e gessagem                                       | Maior desenvolvimento radicular e maior absorção  |
|            | Parcelamento da dose                                     | Reduzir as perdas (volatilização e lixiviação) e maior absorção   |
|            | Fontes de liberação controlada                           | Reduzir as perdas (volatilização e lixiviação) e maior absorção   |
|            | Rotação de culturas                                      | Promover a ciclagem, melhorar as condições físicas do solo, ativar a biota, promover a FBN  |

Fonte: adaptado de Malavolta (1996).

## Práticas de manejo para aumentar a EUN

| Nutriente | Prática      | Efeito   |
|-----------|--------------|--|
| <b>P</b>  | Calagem      | Diminuir a fixação, reduzir a dose aplicada      |
|           | Gessagem     | Maior desenvolvimento radicular e maior absorção |
|           | Localização  | Aumentar o contato com as raízes                 |
|           | Micorrizas   | Aumentar o contato com o P                       |
| <b>K</b>  | Calagem      | Aumentar a CTC e reduzir a lixiviação            |
|           | Gessagem     | Maior desenvolvimento radicular e maior absorção |
|           | Localização  | Evitar ou diminuir o efeito salino               |
|           | Parcelamento | Aumentar a absorção                              |

Fonte: adaptado de Malavolta (1996).

**Obrigado!**



**IPNI**

INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

**Website:**

<http://brasil.ipni.net>

[efrancisco@ipni.net](mailto:efrancisco@ipni.net)

**Phone:**

55 (66) 99932-8848

55 (19) 98723-0699