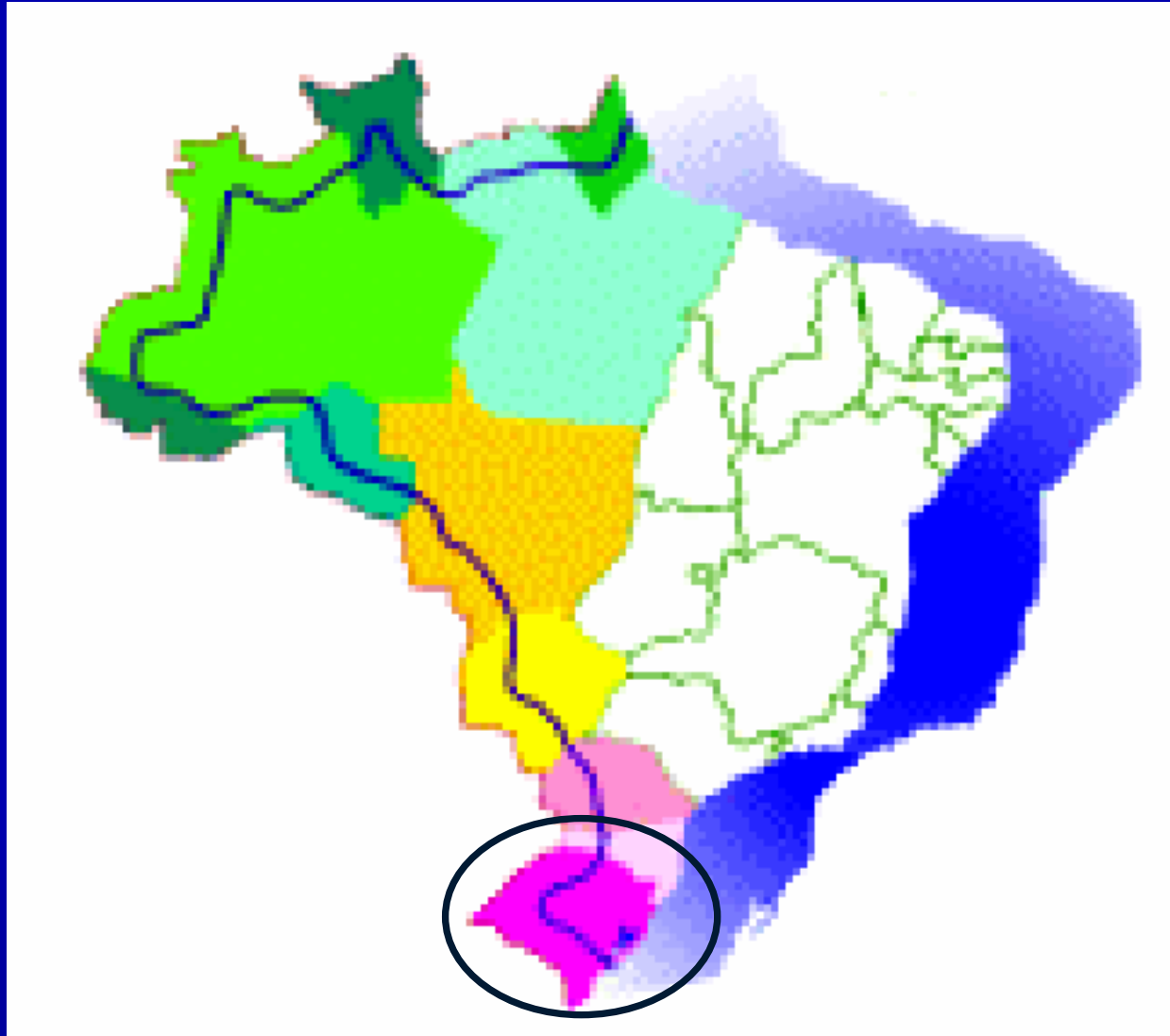


**MANEJO DE FÓSFORO EM SEMEADURA
DIRETA NO SUL DO BRASIL:
VARIABILIDADE DE FÓSFORO E
▪ AMOSTRAGEM DO SOLO**

Ibanor Anghinoni

**Departamento de Solos
Faculdade de Agronomia - UFRGS**

MANEJO DO FÓSFORO EM SEMEADURA DIRETA NO SUL DO BRASIL



Programa de Recomendações RS/SC

“Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina”

- ⇒ **1968: ROLAS (Rede Oficial dos Laboratórios de Análises de Solos) = 6 laboratórios (RS)**
- ⇒ **1988: Comissão de Fertilidade do Solo (RS/SC)
Núcleo Regional Sul/ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo = 20 laboratórios (24)**
- ⇒ **2001/03: 8ª versão (revisão)**

Instituições participantes

⇒ Ensino e Pesquisa

- Universidades: 8
- Centros da EMBRAPA: 5
- Sistemas Estaduais: 2 (12)
- Sistemas Cooperativos: 2

⇒ Extensão Rural: 3

⇒ Setor Privado

- Associações e Sindicatos: 4
- Empresas: 3

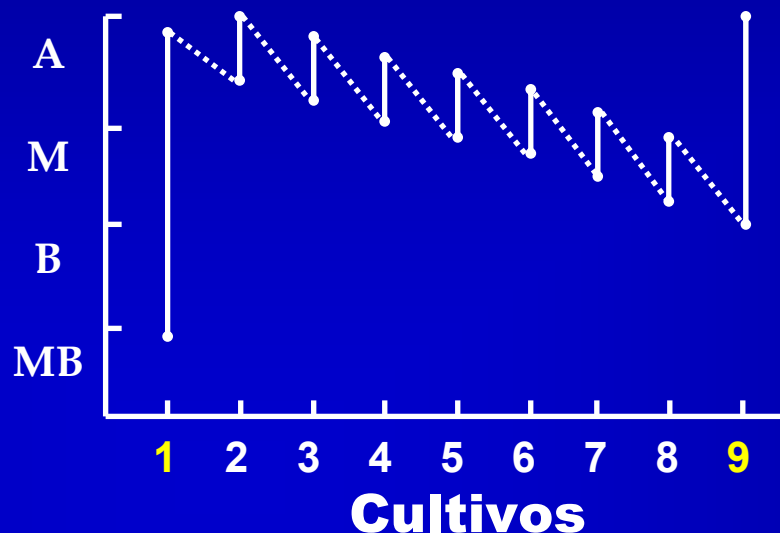
50 a 60
pesquisadores
e técnicos

Filosofia das recomendações

1968/87

Critério MET

**Adubação corretiva
+ manutenção**



**Nova
análise**

4 anos

1987/..

Critério MEE

**Adubação de
cultura**

Sistema misto



3 culturas

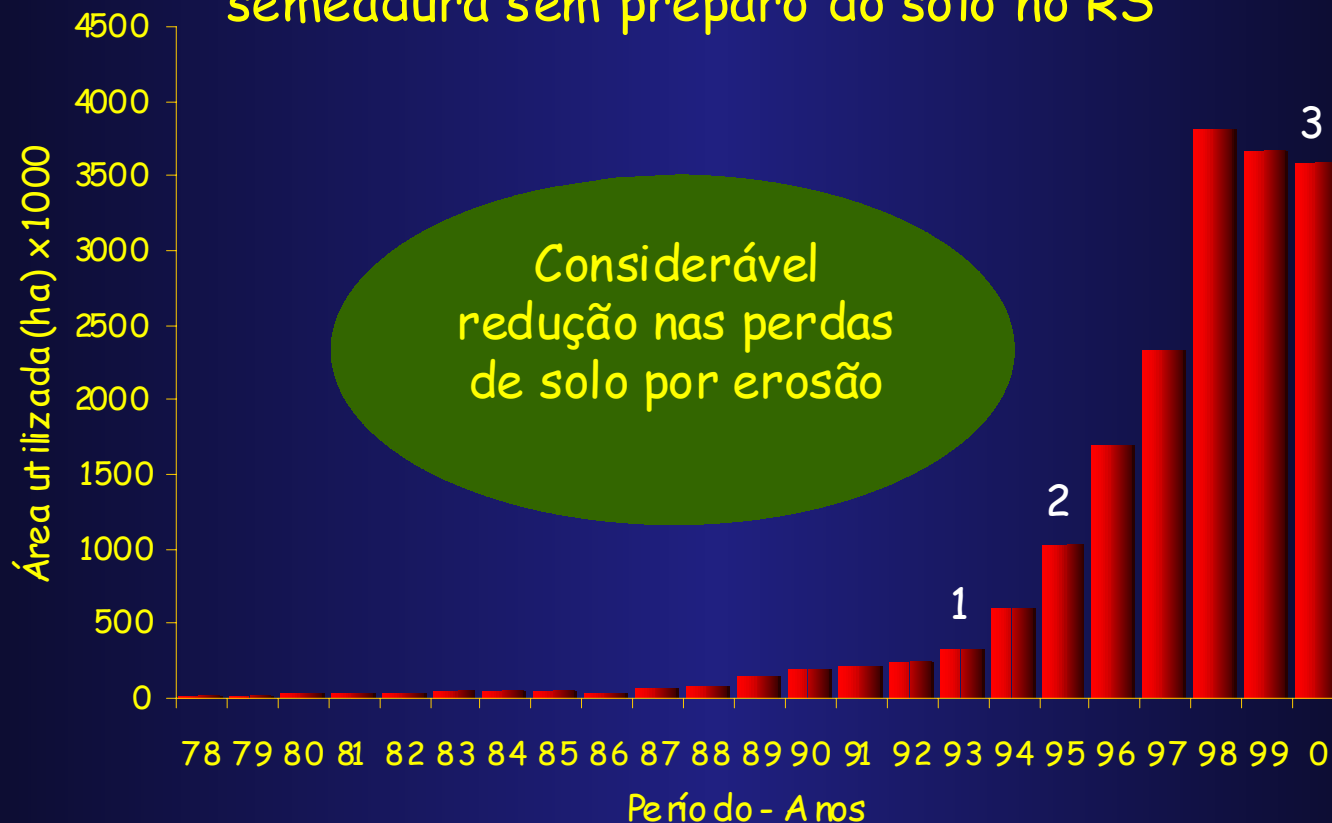
Sistema convencional

Cultivos

Camada 0-20cm

Sistema de semeadura direta (SSD)

Área cultivada sob sistema de manejo em semeadura sem preparo do solo no RS



Considerável
redução nas perdas
de solo por erosão

Fonte: EMATER/RS, 2000.

1 ⇒ **1993**

**Discussão e
planejamento**

2 ⇒ **1995**

**Necessidades e
metodologias**

3 ⇒ **2001/03**

**Revisão das
recomendações**

Metodologia: convencional \Rightarrow semeadura direta ???

ALTERNATIVAS

ALTERAÇÕES

CARACTERÍSTICAS

**Nova
calibração**

Níveis críticos
Classes de fertilidade
Doses

Nova rede experimental
Tempo longo
Custos elevados

**Ajuste:
evidências**

Similaridade
Configuração curvas de resposta
Rendimentos com mesma dose

Uso imediato
Custo baixo

Comprovação ???

Rendimento de culturas vs manejo do solo

| Sistema de manejo | Linho | Cevada | Soja | Milho | Soma |
|--------------------------|-------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
| | (5) | (12) | (11) | (3) | (31) |
| |t ha ⁻¹ | | | | |
| Convencional | 1,53 | 2,64 | 2,65 | 5,80 | 85,9 |
| Semeadura direta | 1,54 | 2,53 | 2,53 | 6,01 | 83,9 |

Kochhann (1996)

Áreas experimentais: sem erosão, sem degradação

Rendimento vs doses de P

| Sistema de manejo | P ₂ O ₅ | Trigo | Soja | Milho | Soma |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | (5) | (9) | (7) | (21) |
| ■ | kg ha ⁻¹ |t ha ⁻¹ | | | |
| Convencional | 40 | 2,86 | 1,89 | 5,21 | 67,8 |
| | 0 | 2,68 | 1,93 | 4,64 | 63,3 |
| Semeadura direta | 20 | 2,80 | 2,06 | 4,75 | 65,7 |
| | 40 | 2,98 | 2,09 | 5,26 | 69,8 |
| | 80 | 3,13 | 2,05 | 5,38 | 71,8 |

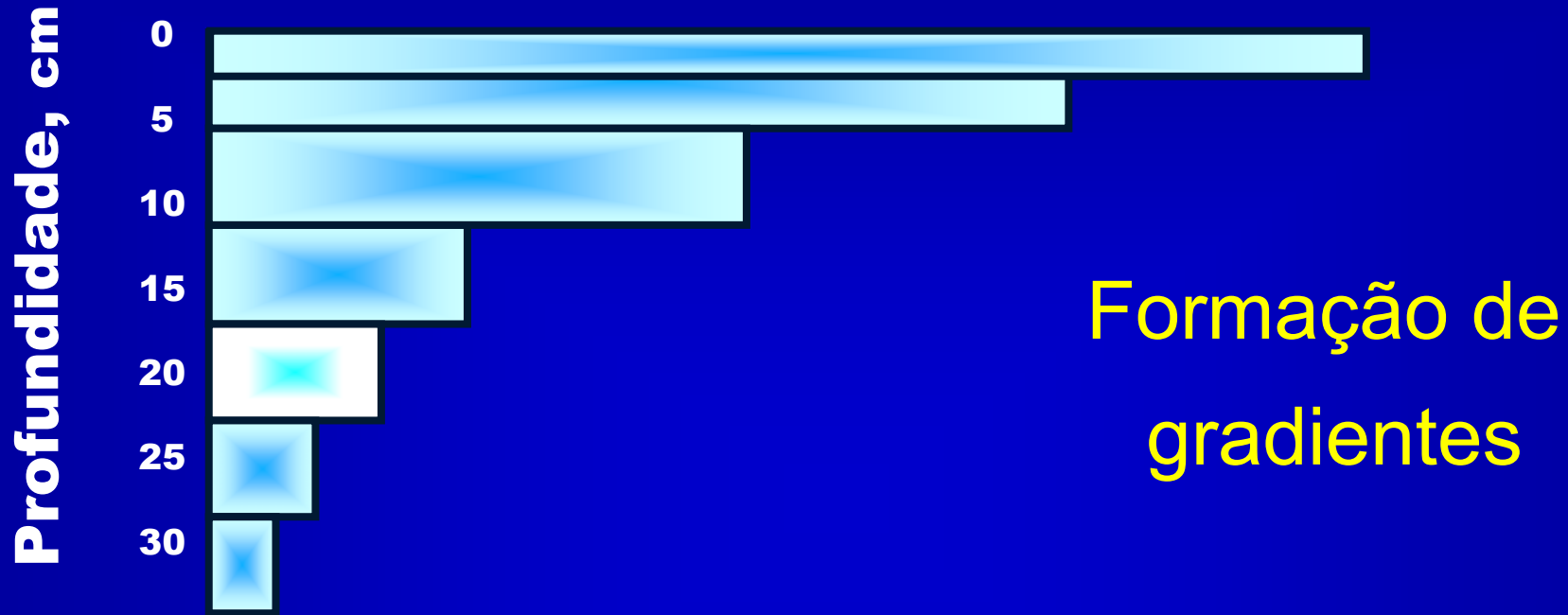
Kochhann (1991)

Vantagem da semeadura direta = 3,6 %

Rendimento médio: SC vs SSD

| Local | Cultura | Período de avaliação | Rendimento | |
|-----------------|---|----------------------|---------------------------------|---------------|
| | | | SC | SPD |
| | | --- Anos --- | ----- kg ha ⁻¹ ----- | |
| Eldorado do Sul | Aveia preta | 8 | 4172 | 4102 |
| | Milho | 10 | 7239 | 7432 |
| Cruz Alta | Aveia preta | 1 | 4743 | 4583 |
| | ■ Aveia + ervilhaca | 1 | 4548 | 4685 |
| | Trigo | 13 | 2333b | 2458 a |
| | Soja | 13 | 2830 b | 3129 a |
| | Soja | 13 | 2798 b | 3024 a |
| | Milho | 13 | 5366 b | 6380 a |
| | Cevada | 14 | 2910 | 2781 |
| Passo Fundo | Linho | 5 | 1536 | 1526 |
| | Soja | 13 | 2604 | 2510 |
| | Milho | 3 | 5800 | 6010 |
| | Sorgo | 2 | 7228 | 7328 |
| | Trigo | 19 | 1504 | 1326 |
| Santo Ângelo | Soja | 17 | 2170 | 2479 |
| | Inverno (61 avaliações) | | 2459 a | 2390 a |
| Média | Verão (84 avaliações) | | 3785 a | 4104 a |
| | Inverno e verão (145 avaliações) | | 3227 a | 3383 a |

P > Ca > Mat. Org. > Mg > K



Variabilidade vertical vs estado de fertilidade

Forma de amostragem:

Equipamentos ?

Profundidade ?

Alternativa de ajuste

Como houve similaridade no rendimento, determinar a profundidade de amostragem com o mesmo valor da análise da camada amostrada no sistema convencional

Ajuste de profundidade

Metodologia

⇒ Experimentos mesmo histórico (10-18 anos)

⇒ Obtenção do rendimento das culturas



Ajuste: Sistema Convencional ⇒ Semeadura direta

0-20 cm ⇒

0-2,5 cm

0-5,0 cm

0-7,5 cm

0-10,0 cm

0-12,5 cm

0-15,0 cm

0-20,0 cm



Ajuste na profundidade de amostragem

Murdock (1985) = 0 - 9 cm

Salet & Anghinoni (1997) = 0 - 11 cm

Schlindwein & Anghinoni (2000) = 0 - 7 cm

Camada de 0 – 10 cm

Profundidade de amostragem

Sá (1995): LVd, 13 anos, milho, SSD

Correlação:



P Mehlich 1

P Resina

vs

Teor de P na folha

Teor de P na planta

Rendimento

Superior na camada 0-10cm, em relação à 0-20 e 10-20cm

Silveira & Stone (2002): LV, 6 anos, pivô central, milho/feijão

SSD = 0-10; 5-20; 10-20; 0-20 cm

SCC₁ = arado + grade = 0-20 cm

SCC₂ = grade aradora = 0 -15 cm

Valores de análise:

0 -10 cm no SPD = 0 - 20 SCC₁ ⇒ pH, Ca, Mg e K

= 0 -15 SCC₂ ⇒ pH, P, Ca e K

Manejo da adubação fosfatada no RS/SC

| Etapa | Camada amostrada (cm) | Manejo do adubo |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Estabelecimento | 0 - 20 | Incorporado |
| Até 6º cultivo | 0 - 20 | Superfície ou no sulco |
| Após 6º cultivo | 0 - 10 | Superfície ou no sulco |

**P na Classe
Média ou Alta**



**Modo de adubação
Fontes fosfatadas**



**Mesma
eficiência**

Evolução da disponibilidade de fósforo¹ no RS

| Classe de disponibilidade | Rio Grande do Sul | | | | Planalto |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1.969 ² | 1.981 ³ | 1.988 ⁴ | 2.000 ⁵ | 2.000 ⁶ |
| | ■ 27.800 ⁷ | 41.200 | 58.500 | 168.200 | 3.500 |
| | % | | | | |
| Muito baixa | 80 | 36 | 32 | 29 | 10 |
| Baixa | 13 | 26 | 27 | 29 | 29 |
| Média | 3 | 14 | 14 | 21 | 21 |
| Alta e M. Alta | 4 | 24 | 27 | 21 | 40 |

¹Mehlich I; ²Porto (1970); ³Tedesco et al. (1984); ⁴Drescher et al (1995);

⁵Rheinheimer et al (2000); ⁶Emater RS (2000); ⁷número de amostras

Variabilidade de fósforo

■

e

amostragem do solo

Variabilidade vs tipo de amostragem

Escala de variação (James & Wells, 1990)

Macro: $> 2,0$; meso $2,0 - 0,05$; micro: $< 0,05$ m

Recomendações:

- Lavoura: áreas uniformes: macro
- Amostra composta: fertilidade média
- Subamostras: meso e micro
- Ao acaso: independentes

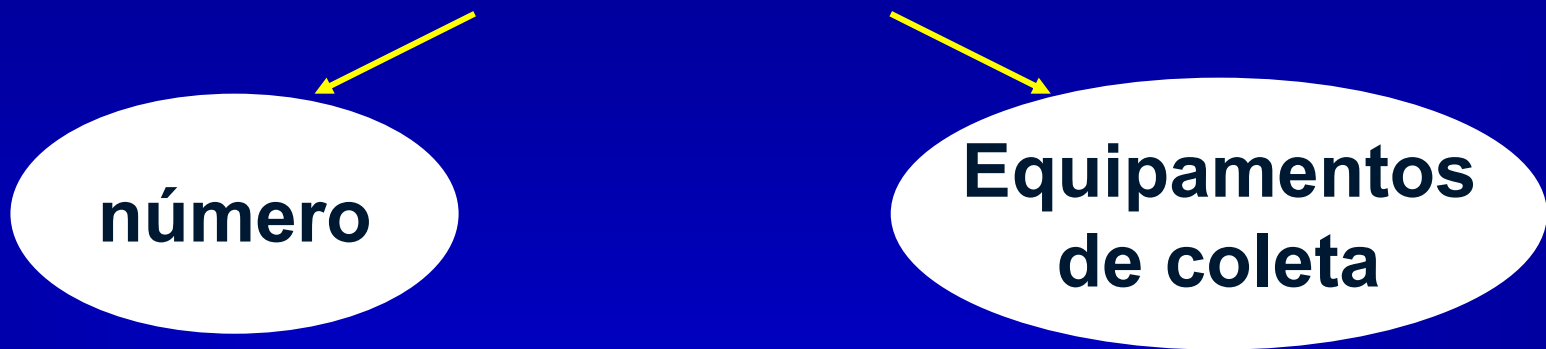
Estatística clássica

Mapeamento (Padrão de variabilidade)

- Lavoura (toda)
- Amostra simples
- Sistemática
- Dependência espacial

Geoestatística - Agricultura de precisão

Subamostras



Base estatística

$$n = [(CV \times t_{\alpha/2}) / e]^2$$

n = número mínimo de subamostras

CV = coeficiente de variação (%)

t = valor tabela de t (Student) α

e = erro em relação à média

Cline (1944)

Sistema convencional

Sistema Plantio Direto

$n = 10-20$?

Precisão
Confiança ($\alpha = 5\%$)

Exatidão
 $e = (10 \text{ ou } 20 \%)$?

Variabilidade entre laboratórios ROLAS - RS/SC

| Índice de Fertilidade | Coeficiente de variação (%) | |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | 1992/97 ¹ | 2000/01 ² |
| pH em água | 3,6 | 2,4 |
| Índice SMP | 3,9 | 3,9 |
| Mat.Org. | 20,4 | 10,9 |
| K ³ | 13,9 | 9,1 |
| P ³ | 38,0 | 20,4 |

¹21 laboratórios; ²24 laboratórios; ³Mehlich I.

Wiethölter (2002)

Sistema convencional

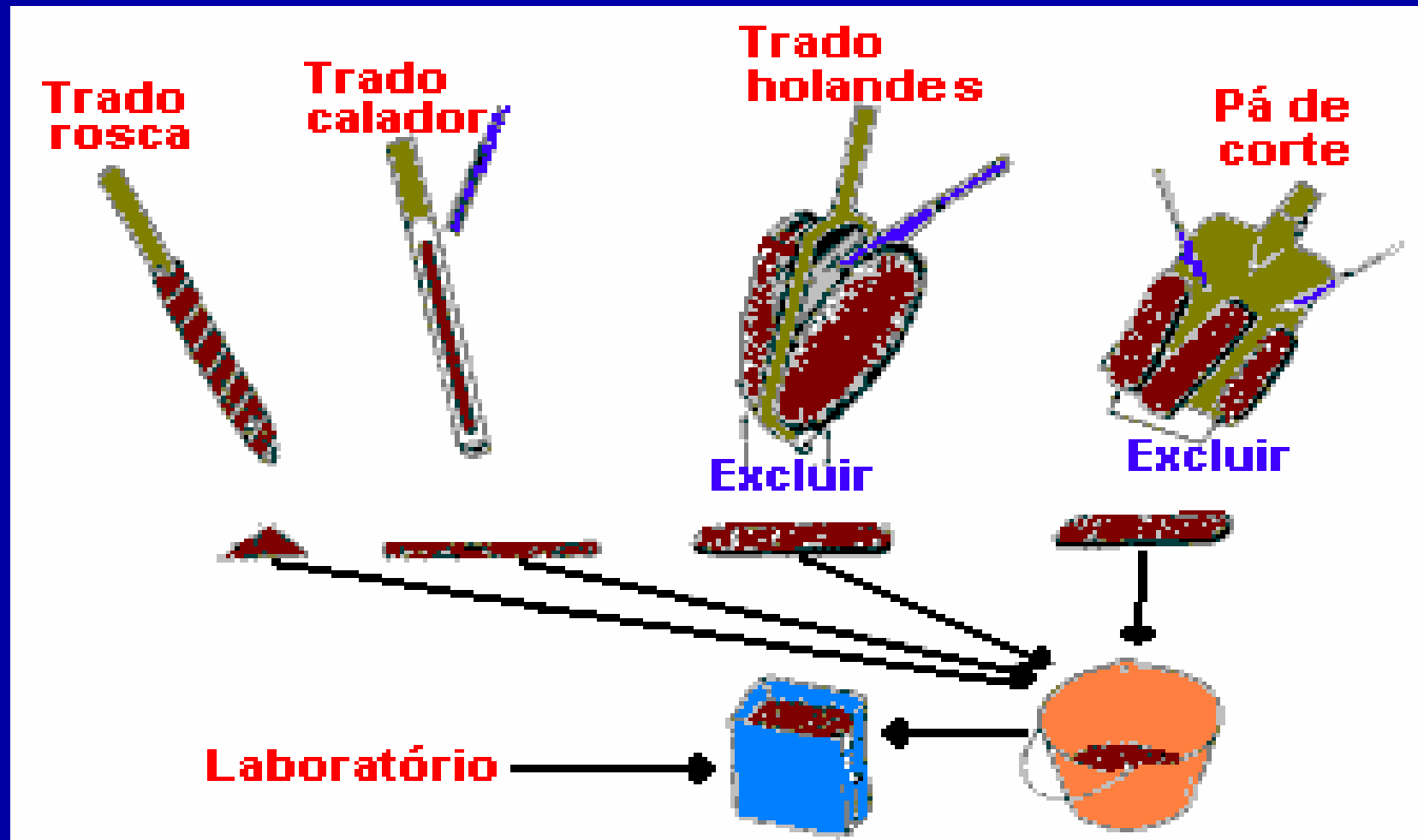
Número de subamostras¹

| Índice de fertilidade | CV (%) | Erro admitido (e) | |
|-----------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | 10 % | 20 % |
| pH em água | 3,0 | 1 | 1 |
| Índice SMP | 2,6 | 1 | 1 |
| Mat.Org. | 7,0 | 1 | 1 |
| K² | 38 | 72 | 12 |
| P² | 34 | 50 | 7 |

¹ $n = (CV \cdot t_{\alpha/e})^2$, $\alpha = 0,05$; ²Mehlich I

Adaptado de Salet et al. (1996) e Souza (1992)

Sistema convencional



Todos adequados

Semeadura direta vs convencional

| Sistema | Nutriente (Mehlich I) | CV (%) | Número de subamostras¹ |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|--|
| Convencional | K | 38 | 12 |
| | P | 29 | 7 |
| Semeadura direta | K | 38 | 12 |
| | P | 47 | 22 |

¹ $n = (CV \cdot t_{\alpha/e})^2$, $\alpha = 0,05$, $e = 20\%$; ²Mehlich I.

Adaptado de Salet et al. (1996) e Souza et al. (1998)

Sistema Semeadura Direta



Redefinição de procedimentos

Gradiente vs perdas de solo

Valor de análise

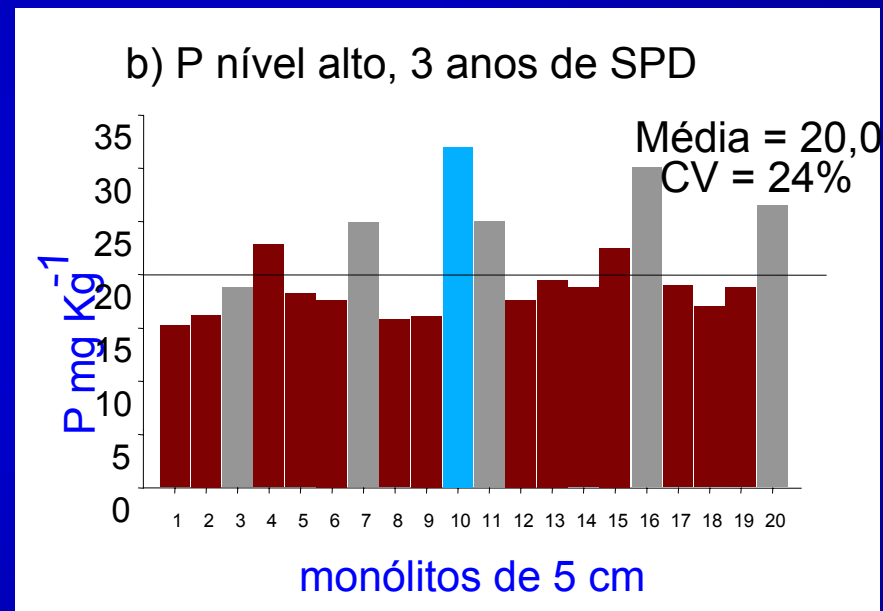
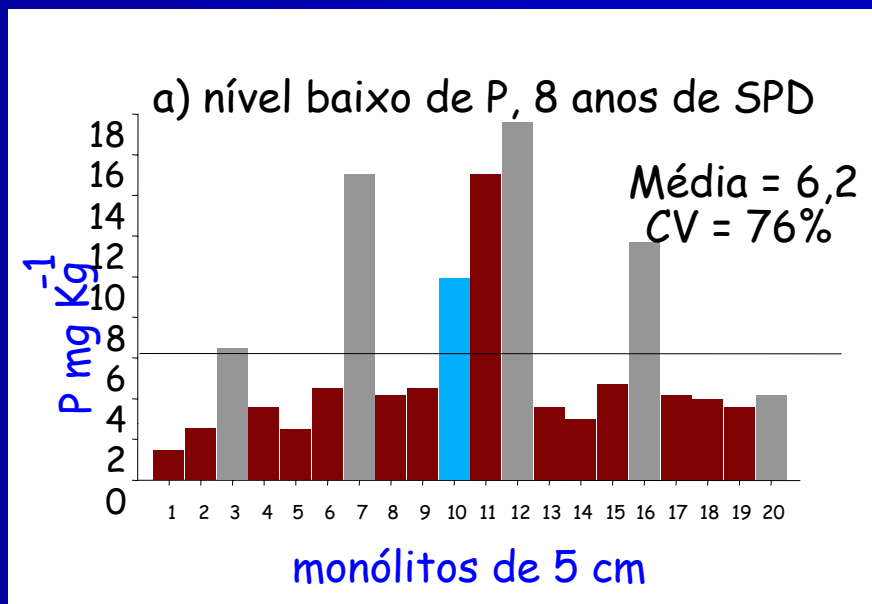
| Modo de adubação | Equipamentos | Índice de fertilidade | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|
| | | MO | K ¹ | P ¹ |
| | | ---%--- | ----mg kg ⁻¹ ---- | |
| Lanço ² | Trado de rosca | 4,1a ⁶ | 248a | 26b |
| | Pá de corte ⁴ | 4,2a | 233b | 36a |
| Linha ³ | Trado de rosca | 3,8b | 175b | 26b |
| | Pá de corte ⁵ | 6,0a | 221a | 38a |

¹Mehlich I; ²Nove anos; ³Doze anos; ⁴5/10 cm; ⁵5 cm/largura da entrelinha;
⁶Tukey P<0,05.

Schlindwein & Anghinoni (2002)

Variabilidade horizontal em lavouras com adubação em linha

Fósforo



devido às linhas de adubação (camada 0-10 cm)

Kray et al. (1998)

Variabilidade horizontal vs representatividade

- **Número de subamostras?**

Tamanho e forma das subamostras?

Equipamentos de coleta?

Representatividade: Trado holandês vs culturas

| Índices de fertilidade | Cultura | CV (%) | Número de subamostras ¹ |
|------------------------|--------------------------|------------|------------------------------------|
| K² | Soja³ | 30 | 10 |
| | Milho⁴ | 34 | 13 |
| p² | Soja | 70 | 53 |
| | Milho | 178 | 345 |

¹ $n = (CV \cdot t_{\alpha/e})^2$, $\alpha = 0,05$, $e = 20\%$; ²Mehlich I; ³LVdf; ⁴LVd.

Nicolodi et al. (2000)

Representatividade

Pá de corte vs trado de rosca : P - Soja

| Modo de adubação | Equipamentos | CV (%) | Número de subamostras ¹ |
|--------------------|--------------------------|--------|------------------------------------|
| Lanço ² | ■ Trado de rosca | 47 | 23 |
| | Pá de corte ⁴ | 33 | 11 |
| Linha ³ | Trado de rosca | 67 | 46 |
| | Pá de corte ⁵ | 33 | 11 |

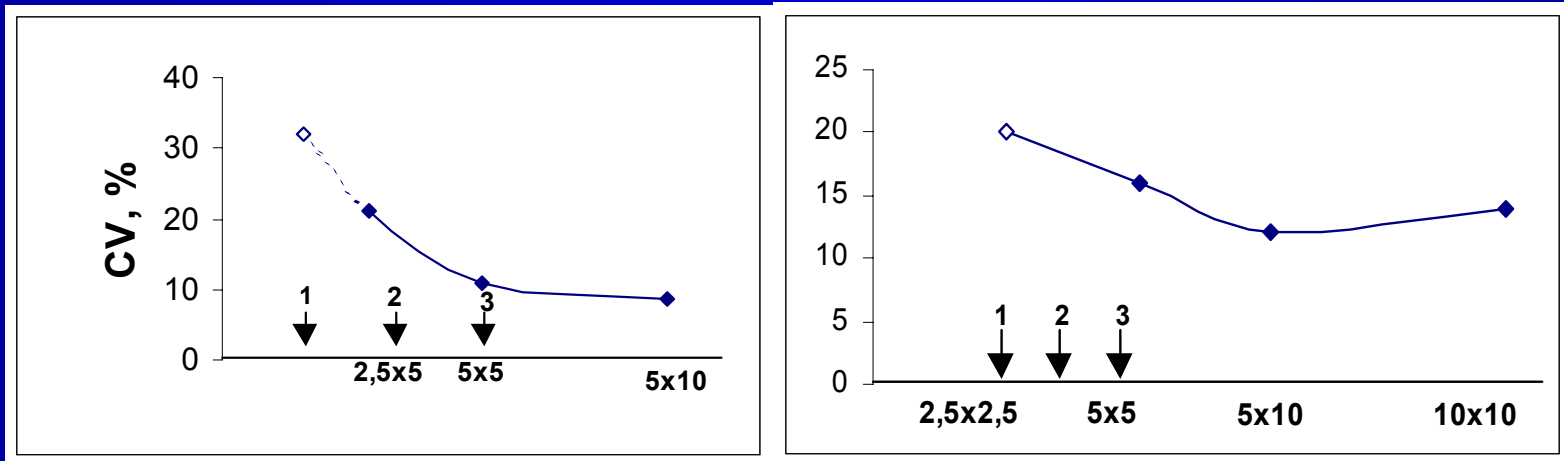
¹ $n = (CV \cdot t_{\alpha/e})^2$, $\alpha = 0,05$, $e = 20\%$; ²Nove anos; ³Doze anos; ⁴5/10 cm; ⁵5 cm/largura da entrelinha; Camada 0-10 cm.

Schlindwein & Anghinoni (2002)

Variabilidade horizontal vs tamanho da amostra

Adubação a lanço : P - Soja

■
LVd (3 anos, 8 camadas) e LVdf (9 anos, 0-10 cm)



- (1) Trado de rosca; (2) Trado holandês;
(3) Trado de caneca ($\varnothing = 6-8$ cm).

Recomendação Comissão RS/SC (2001/03)

Semeadura direta com adubação a lanço

n = 10 - 20 subamostras
Coleta com pá de corte
(desprezando as laterais)
na camada de 0-10 cm

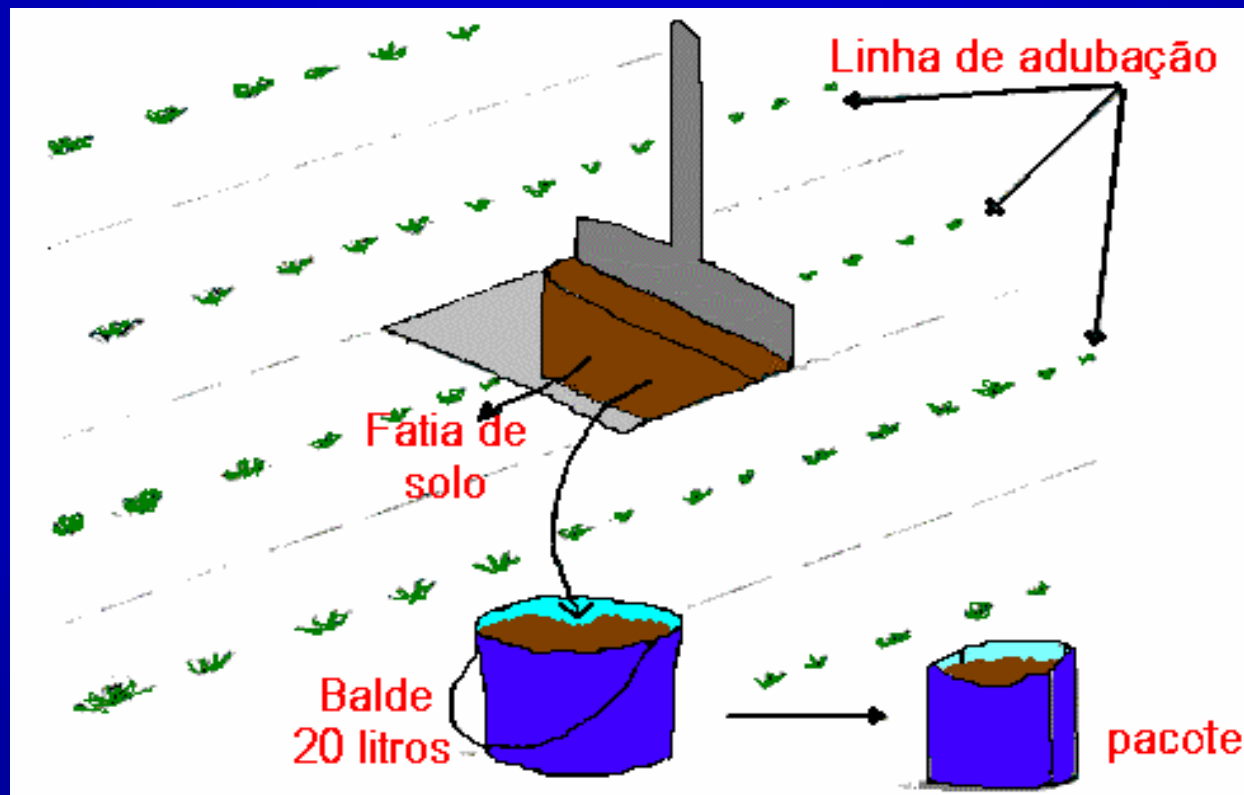


Recomendação Comissão RS/SC (1995)

Semeadura direta com adubação em linha

n = 6 - 8 subamostras

Coleta com pá de corte na camada de 0-10 cm



Adubação em linha

Média de 6 lavouras

| Índices de fertilidade | Coef. de variação | Subamostras ¹ | |
|------------------------|-------------------|--------------------------|-------|
| | | Erro e = 20% | |
| | | Média | Ampl. |
| pH em água | 4,1 | <1 | <1 |
| Índice SMP | 7,0 | <1 | <1 |
| Mat. Org. | 9,8 | 1 | 1-2 |
| K | 29,9 | 11 | 3-24 |
| P | 33,3 | 13 | 3-24 |

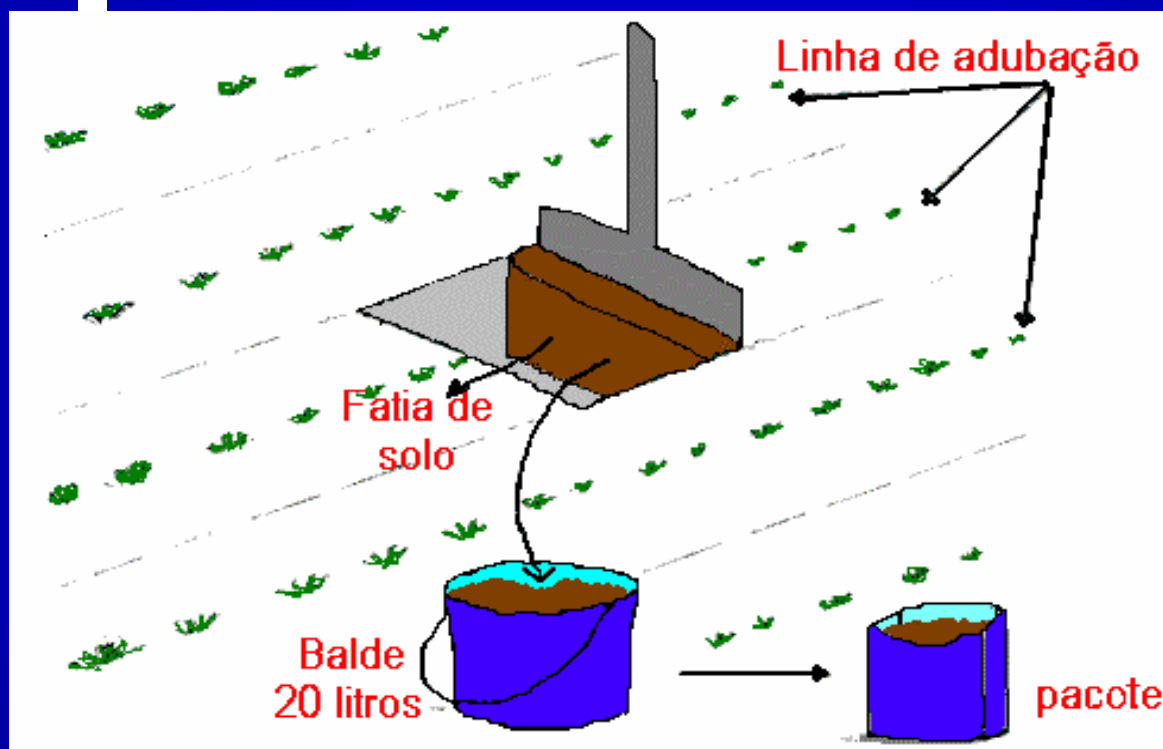
¹ $n = (CV \cdot t_{\alpha/e})^2$, $\alpha = 0,05$, camada 0-10cm; na largura da entrelinha

Recomendação Comissão RS/SC (2001/03)

Semeadura direta com adubação em linha

n = 10 - 20 subamostras

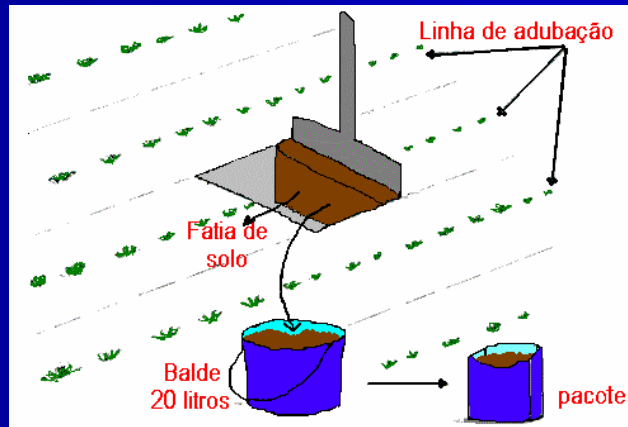
Coleta com pá de corte na camada de 0-10 cm



($e = 20\%$; $\infty = 5\%$)

A amostragem do solo com pá de corte

Recomendações da Comissão... (2001/03)



Problemas em lavouras

grande volume de solo (ex. milho)
dificulta homogeneização da amostra
pouco prática

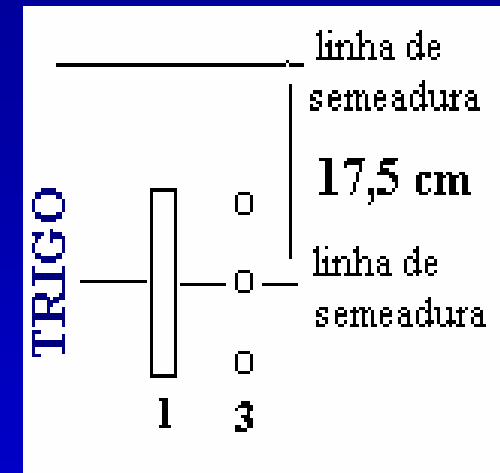
nem sempre é seguida

equipamento inadequado e/ou
menor número de subamostras

amostra de solo não representativa

| Critério de decisão | Nutrientes | Número de pontos Calador | | | |
|---------------------|------------|--------------------------|---|---|---|
| | | 7 | 5 | 3 | 1 |
| Exatidão | K | S | S | S | S |
| | P | S | S | S | N |
| Precisão | K | S | S | S | S |
| | P | S | S | S | N |

S = Satisfaz; **N** = Não satisfaz.

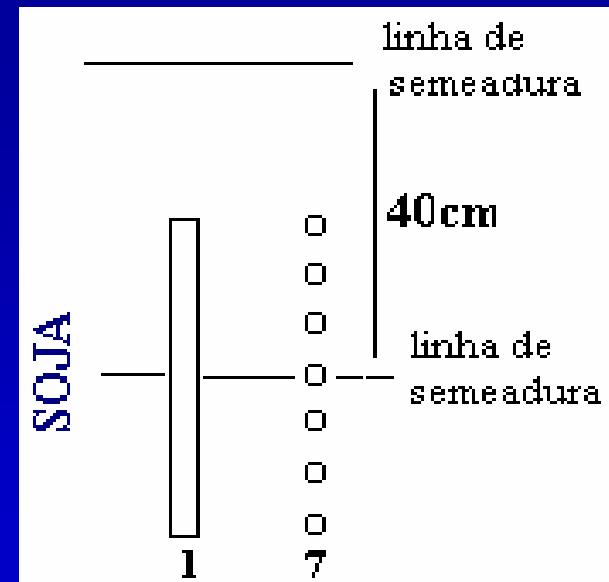


Trigo
Aveia
Cevada



| Critério de decisão | Nutrientes | Número de pontos Calador | | | | |
|---------------------|------------|--------------------------|----|---|---|---|
| | | 15 | 11 | 7 | 3 | 1 |
| Exatidão | K | S | S | S | S | N |
| | P | S | S | S | N | N |
| Precisão | K | S | S | S | S | S |
| | P | S | S | S | N | N |

S = Satisfaz; **N** = Não satisfaz.

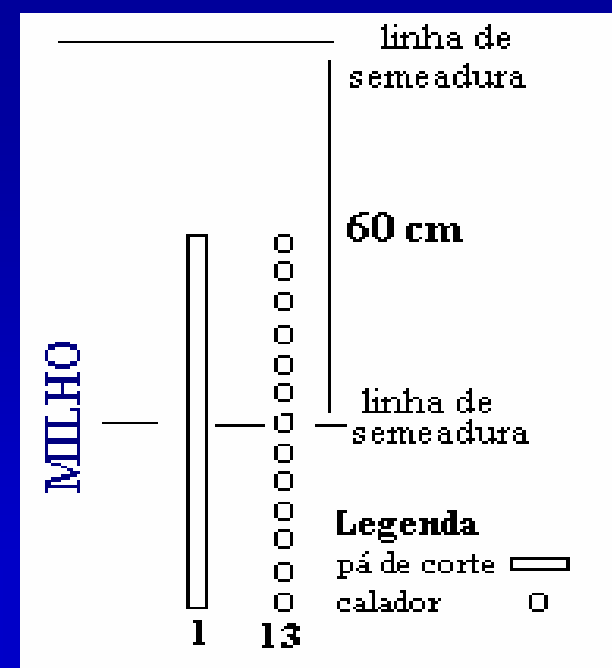


Soja



| Critério de decisão | Nutrientes | Número de pontos Calador | | | | |
|---------------------|------------|--------------------------|----|---|---|---|
| | | 21 | 13 | 7 | 3 | 1 |
| Exatidão | K | S | S | S | S | N |
| | P | S | S | N | N | N |
| Precisão | K | S | S | S | S | N |
| | P | S | S | N | S | N |

S = Satisfaz; **N** = Não satisfaz.



Milho



Considerações finais

- A camada de amostragem do solo ajustada é 0-10 cm no sistema consolidado ou quando implantadas em áreas de campo natural sem preparo do solo;
- A variabilidade horizontal e a formação de gradientes no perfil do solo restringem o uso do trado de rosca e do trado holandês;

● Os limites de precisão (∞ , e) devem também considerar a variabilidade entre os Laboratórios da Rede (ROLAS RS/SC = 20 %);



● O fósforo é o índice com maior variabilidade e determina número de subamostras;

● Na adoção de $\infty = 5\%$ e $e = 20\%$: $n = 10$ a 20 , desde que o sítio de coleta seja representativo;

🔴 Atenção ao sítio de coleta: a forma e o tamanho da subamostra devem considerar o modo de adubação:

■
Lanço: pá de corte = 5 x 10 cm
trado caneca \varnothing = 6-8 cm

Linha: pá de corte = secção transversal na largura da entrelinha;

● A *mesma exatidão e precisão* com **pá de corte** (Recom. Comissão 2001/03), com adubação em linha, pode ser **obtida** número variável de pontos com **trado calador**, em função do espaçamento da última adubação em linha:

trigo = 3 pontos,
soja = 7 pontos e
milho = 13 pontos

(n=10-20 subamostras, camada de 0-10 cm)