



VIII SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

# ADUBAÇÃO NITROGENADA DE SOQUEIRA EM TAXA VARIÁVEL: Avanços e Desafios

**Prof. Dr. Lucas Rios do Amaral**

*Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAgri/UNICAMP*

**Dr. Sergio G. Quassi de Castro**

*Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol – CTBE/CNPEM*



# Roteiro

- 1) Agricultura de precisão e a adubação em doses variadas
- 2) Fertilização nitrogenada em cana
- 3) Sensores de refletância do dossel para aplicação de nitrogênio**
- 4) Condutividade elétrica do solo e ambiente de produção



**Variabilidade espacial  
em canaviais**



# Agricultura de Precisão

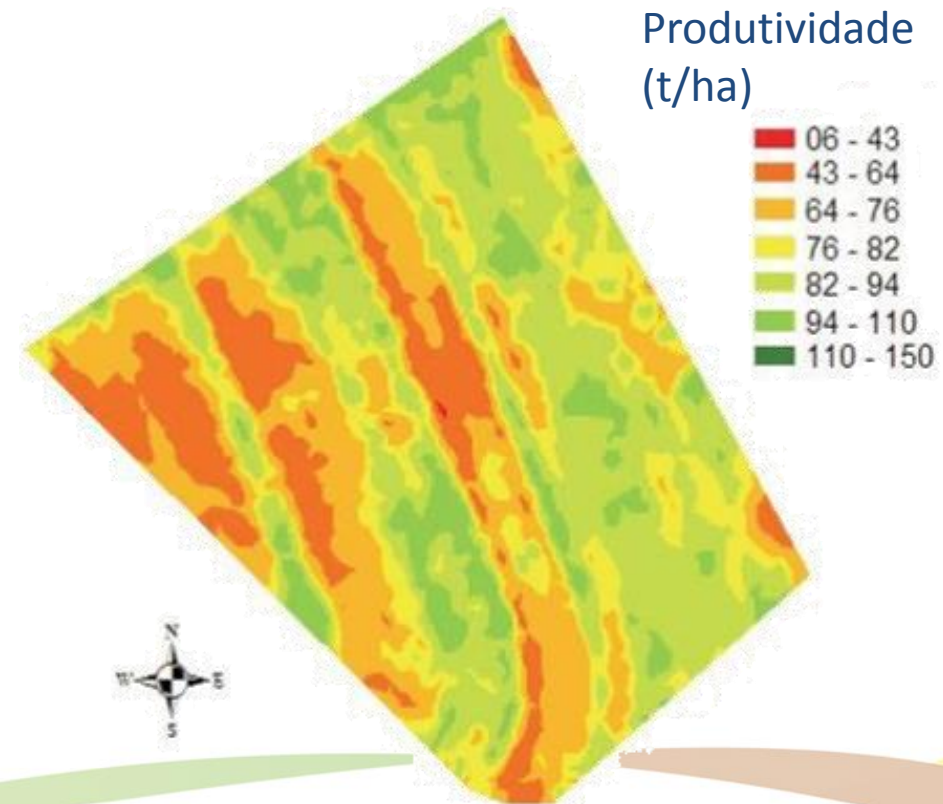


VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



- Um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente (CBAP/MAPA)

- Uma forma de gerenciamento que **leva em consideração a variabilidade espacial das lavouras** e busca tirar proveito dessas desuniformidades sempre que forem relevantes (Prof. Molin)



# Agricultura de Precisão

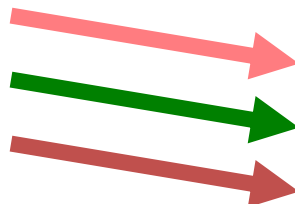


VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR

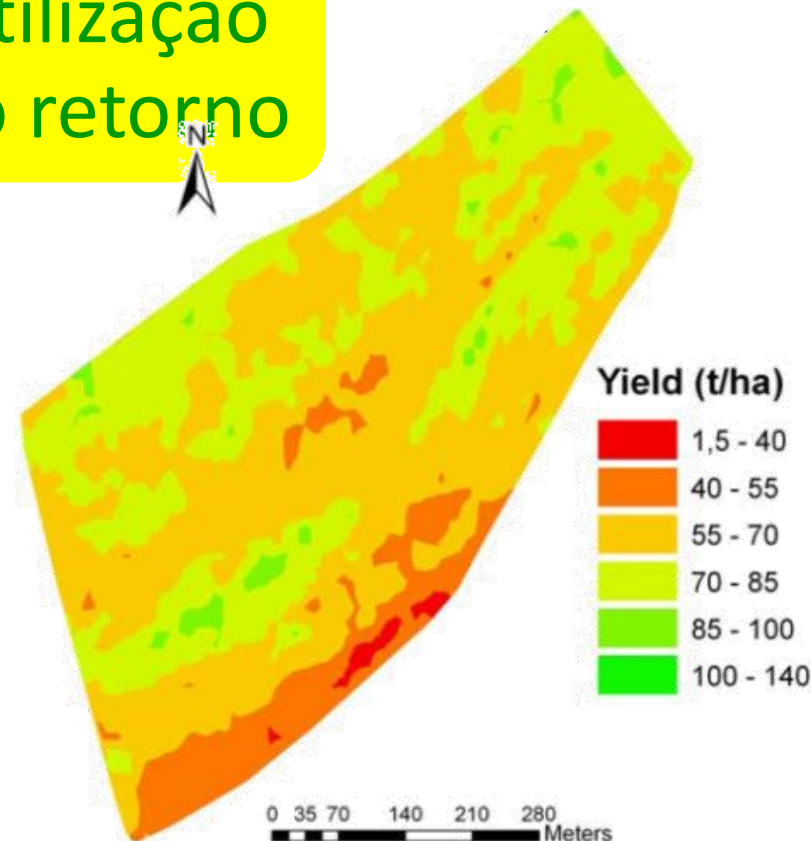


Oportunidade – Melhor utilização dos insumos e otimização do retorno

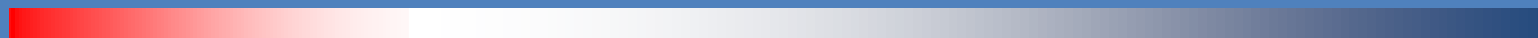
Aplicações  
uniformes



Produção variável



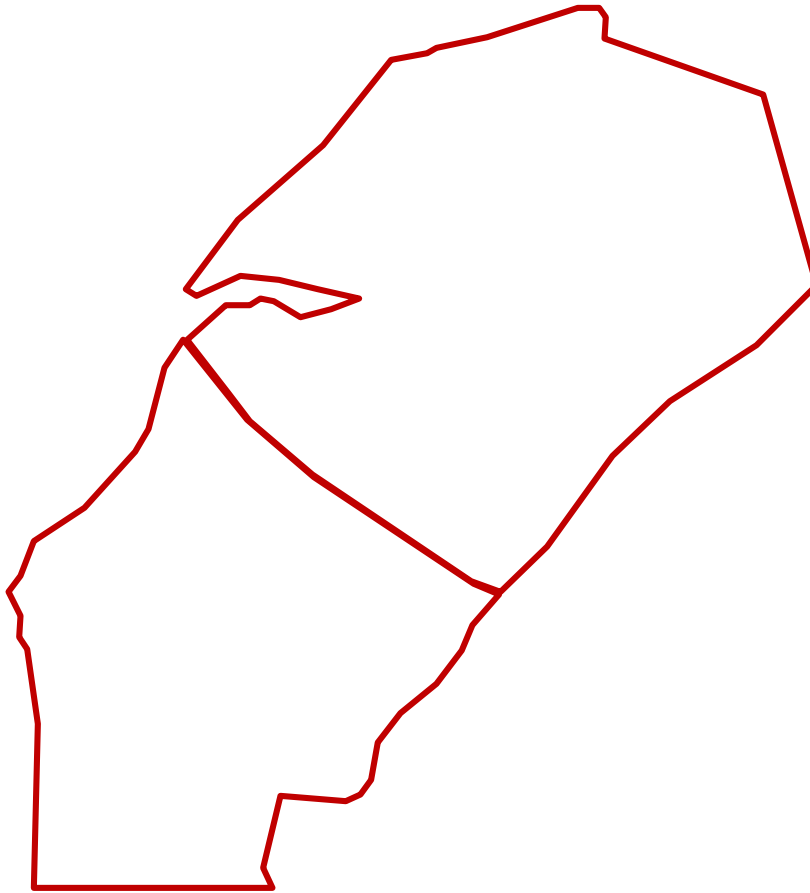
Lucro variável espacialmente



# A problemática da amostragem de solo para prescrição de fertilizantes



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR

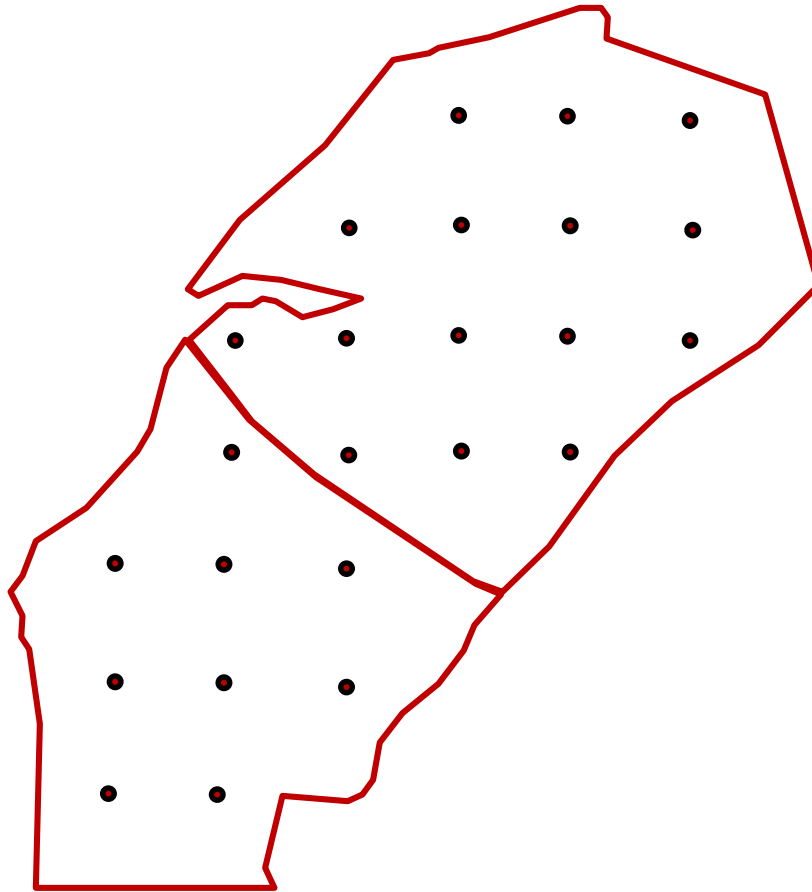


**Dificuldade:** planejamento da amostragem sem conhecimento prévio da área...

# A problemática da amostragem de solo para prescrição de fertilizantes



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



**Dificuldade:** planejamento da amostragem sem conhecimento prévio da área...

...geralmente com densidade amostral **BASEADA NA PROPENSÃO A INVESTIR.**

# A problemática da amostragem de solo para prescrição de fertilizantes



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



**Dificuldade:** planejamento da amostragem sem conhecimento prévio da área...

...geralmente com densidade amostral **BASEADA NA PROPENSÃO A INVESTIR.**

**RESULTADO** = frequentemente o número e disposição das amostras não são suficientes para identificar adequadamente a variabilidade espacial.



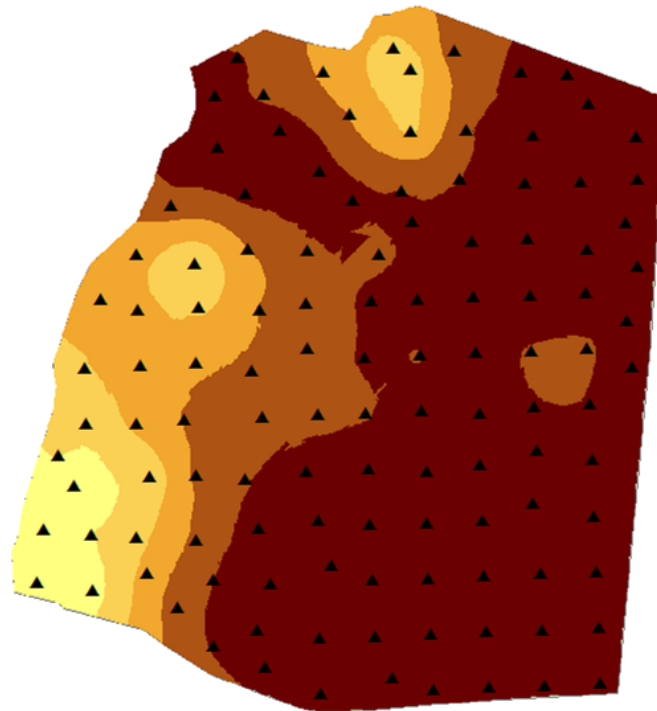
# A problemática da amostragem de solo para prescrição de fertilizantes



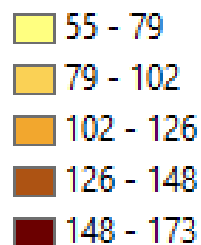
VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



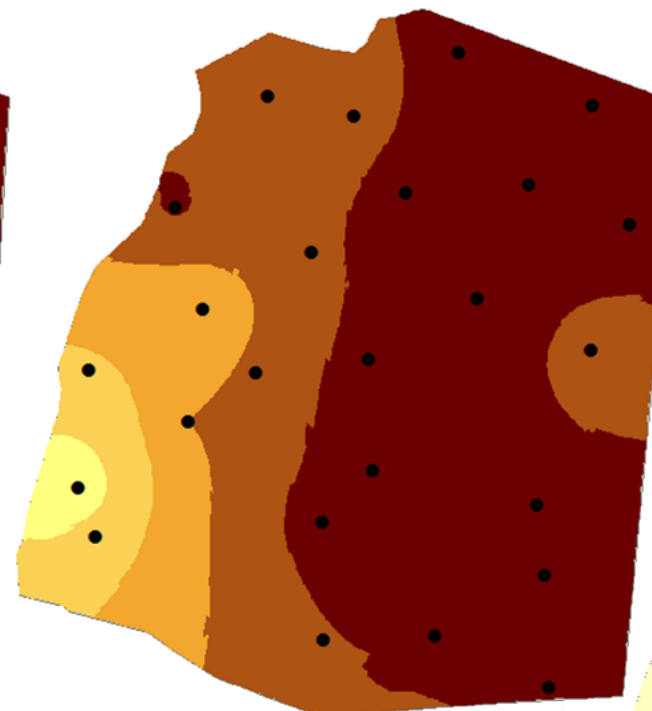
Uma amostra por hectare



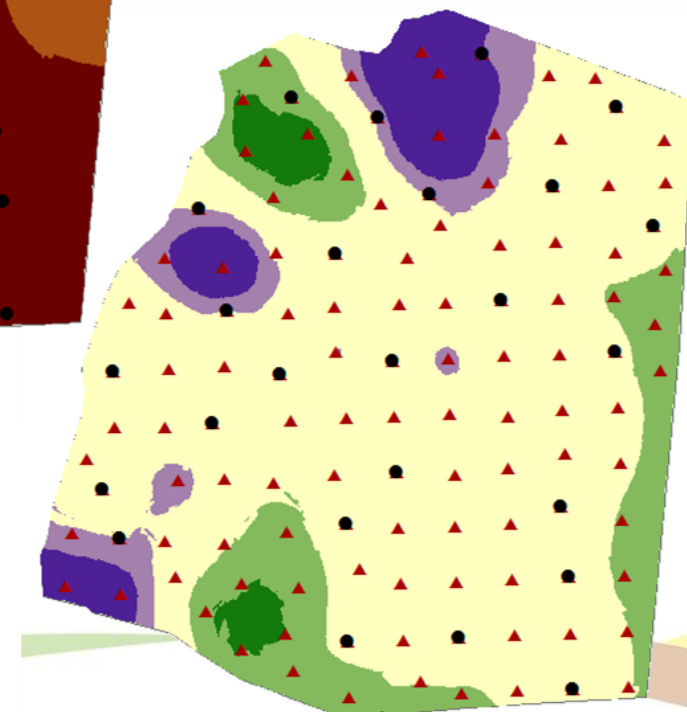
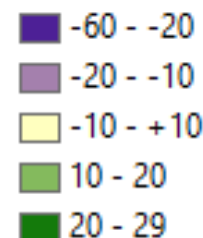
Dose de K  
(kg/ha)



Uma amostra a cada 5 hectares



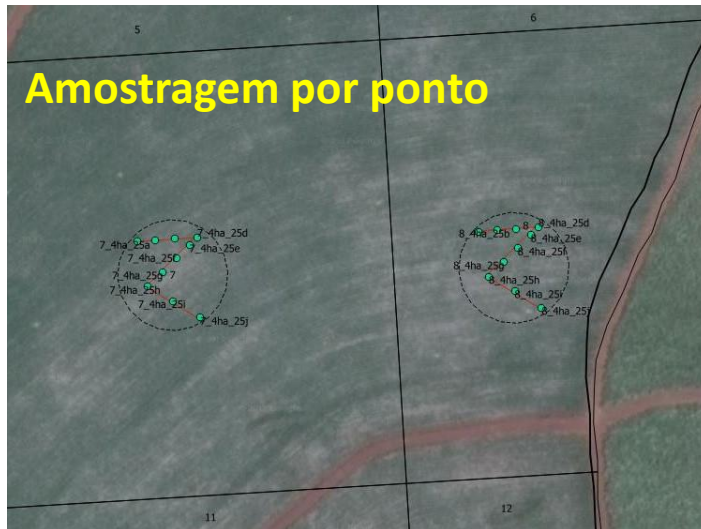
Diferença  
(kg/ha)



# Coleta das subamostras



## Amostragem por ponto

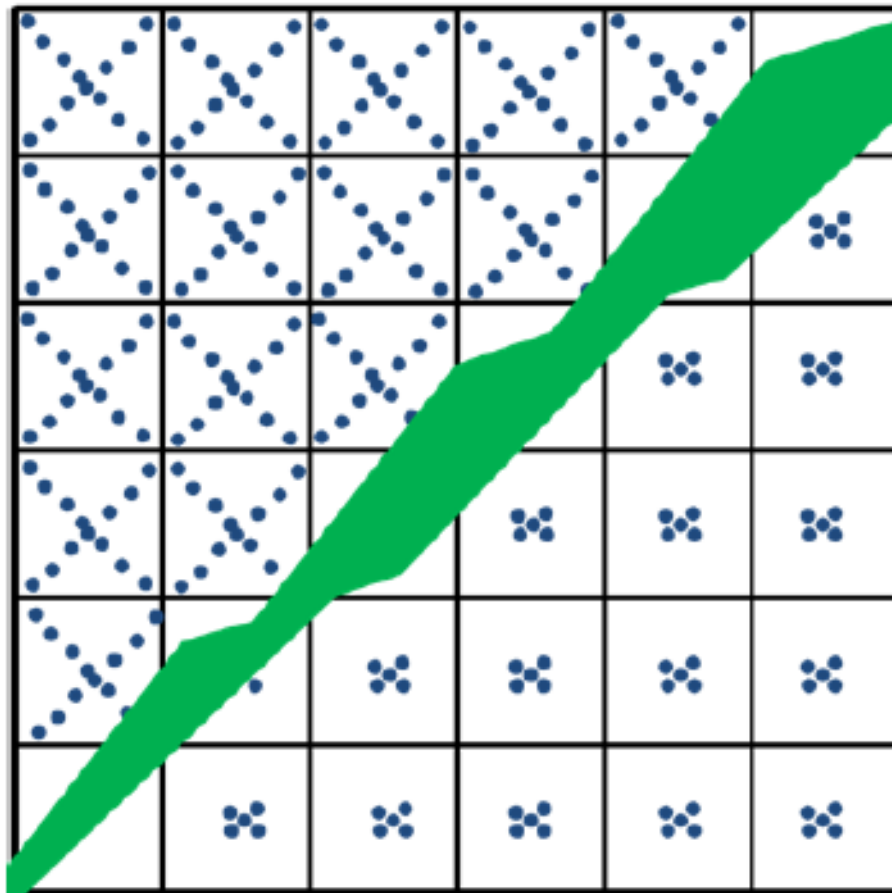


## Amostragem por célula



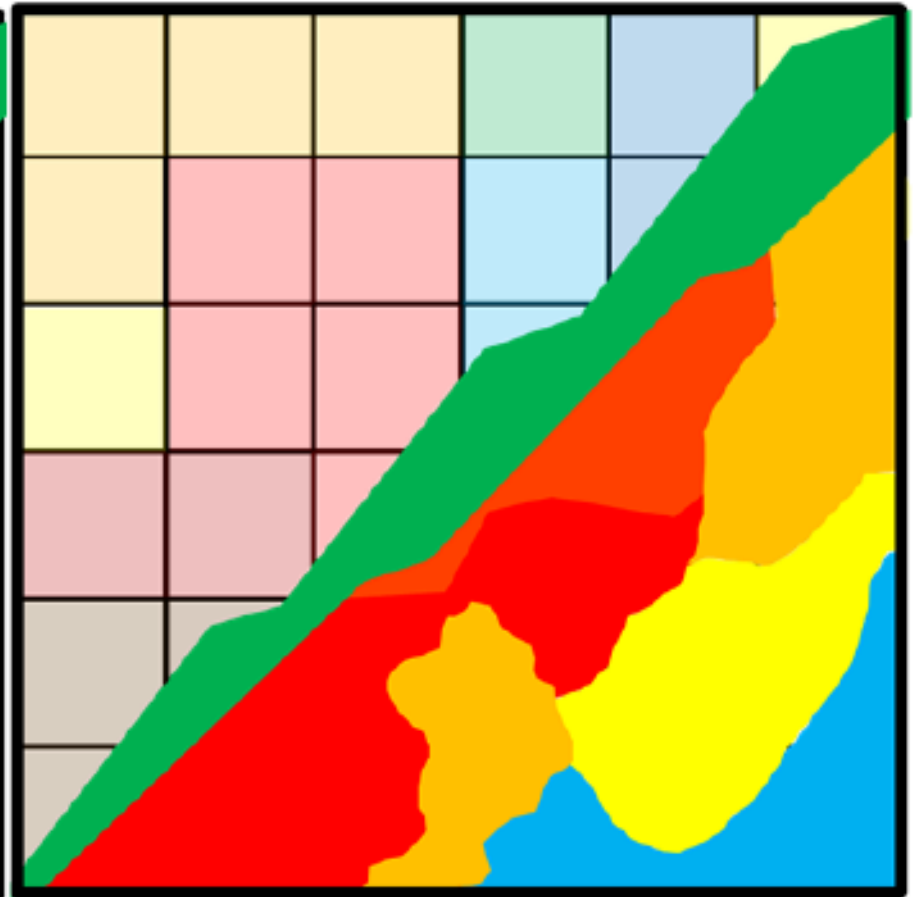


Amostragem em células



Amostragem em pontos

Mapa = valor da amostra

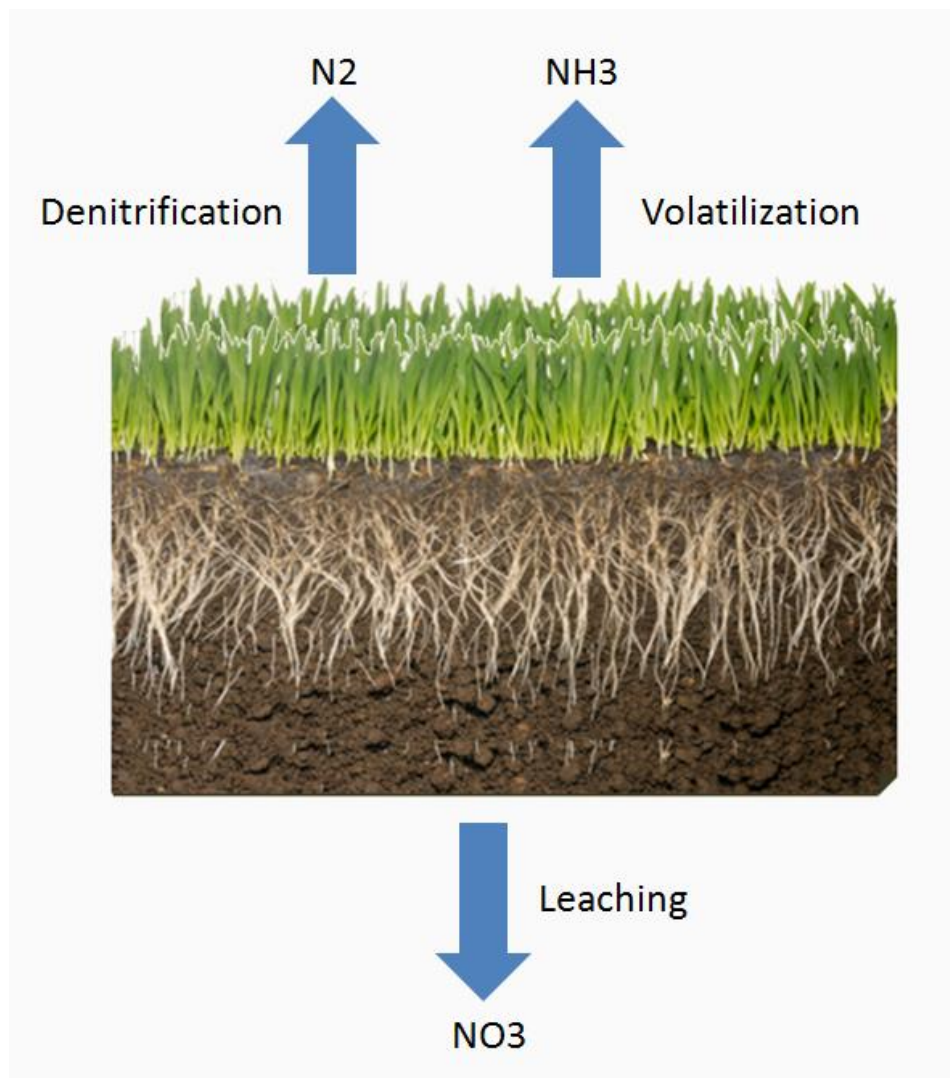


Mapa = estimativa

# A dificuldade no manejo do nitrogênio é ainda maior



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



# Importância do N-fertilizante para a cana-de-açúcar



# DOSE ECONÔMICA DE ACORDO COM O CENÁRIO E ÉPOCA DE COLHEITA

## Composição da matriz: 3 ENSAIOS CONDUZIDOS POR 3 ANOS

Preço da cana (R\$ /t.)	Preço do Nitrato de Amônio (R\$/t.)					
	800	900	1000	1100	1200	1300
Dose econômica de N (kg ha <sup>-1</sup> )						
	INÍCIO	MEIO	FIM	INÍCIO	MEIO	FIM
40						
50	80	105	90	70	85	80
60						
70						
80	95	120	110	90	105	100
90						

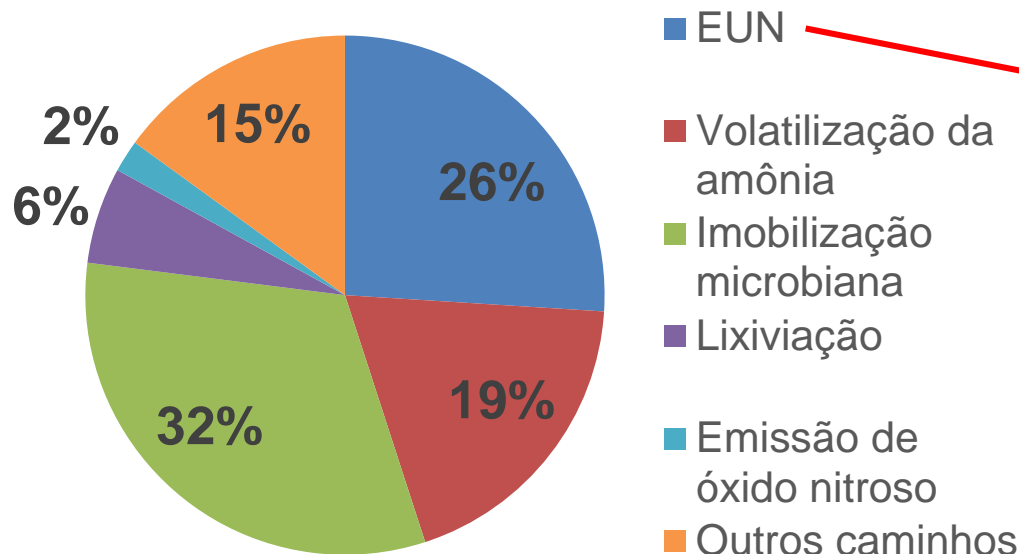
  

←	→	↓	↓
Var. 25 kg	Var. 15 kg	Var. 25 kg	Var. 15 kg

# Parcelamento – uma opção para aumento da EUN



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



**Baixa eficiência de uso do N pela cana-de-açúcar quando comparado a outras culturas**

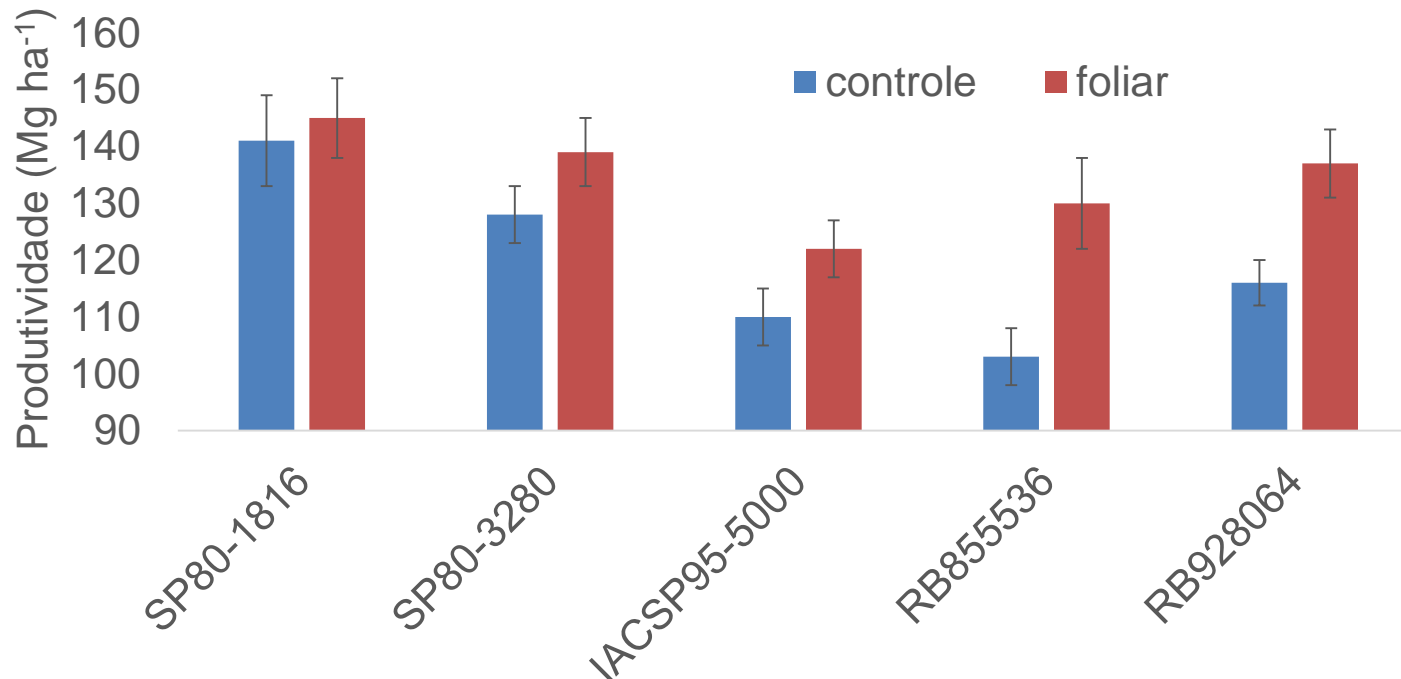
Alternativa repor via solo a extração pelo colmos ~ 70 kg N e o restante aplicar via foliar

**Quantas aplicações? Qual o momento? – necessidade de pesquisas**

# Adubação Foliar – uma opção para aumento da EUN



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



Dose: 10 a 12 kg N ha<sup>-1</sup>

Aplicação feita no período de máximo crescimento vegetativo

**50% de absorção via foliar em até 6 horas**

Trivelin, 2000.



# Forma de aplicação do N-fertilizante



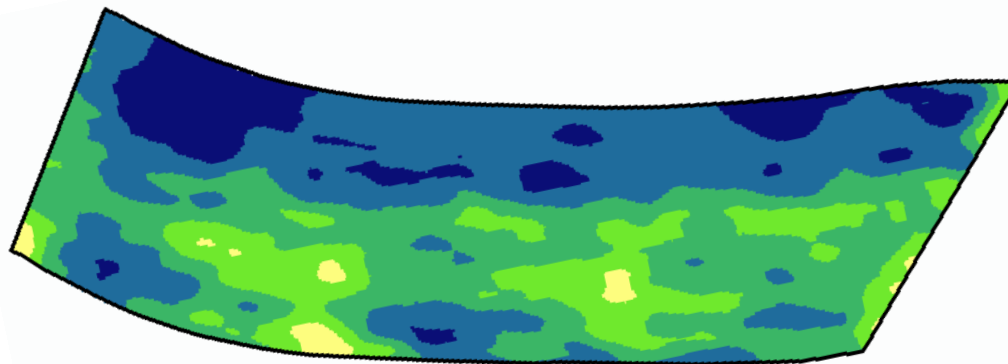
## Produtividade de Colmos (TCH)

Forma de Aplicação	2010	2011	Total
Tríplice operação	115 <sup>b</sup>	80 <sup>ab</sup>	195 <sup>b</sup>
Superfície	129 <sup>a</sup>	76 <sup>b</sup>	205 <sup>b</sup>
Incorporado	139 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>	233 <sup>a</sup>
Controle	84 <sup>c</sup>	61 <sup>c</sup>	145 <sup>c</sup>
DMS (10%)	5	14	18
CV(%)	9	15	8

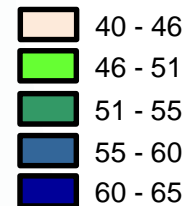


## Manejo localizado

### Aplicação de nitrogênio em doses variadas



Doses de nitrogênio  
(kg/ha)

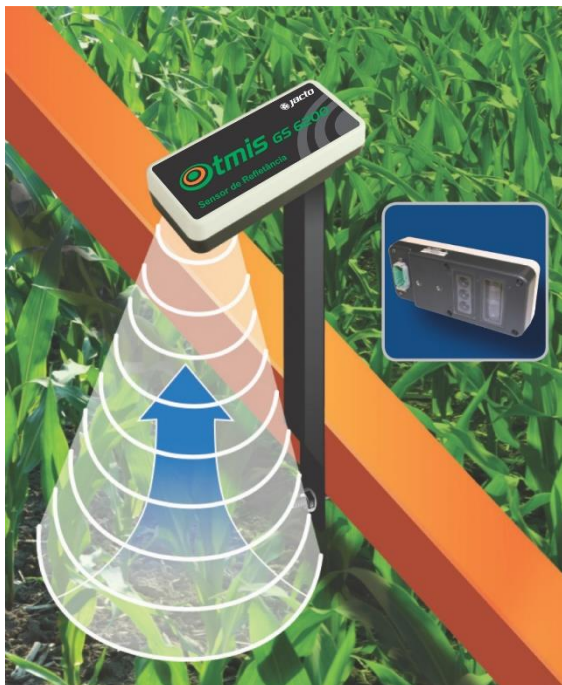


# Uma alternativa:

## SENSORES DE REFLECTÂNCIA DO DOSSEL



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



CropCircle (Holland Scientific)  
OptRX (AgLeader)  
GS-6200 (Otmis/Jacto)



N-Sensor (Yara)



CropSpec (Topcon)

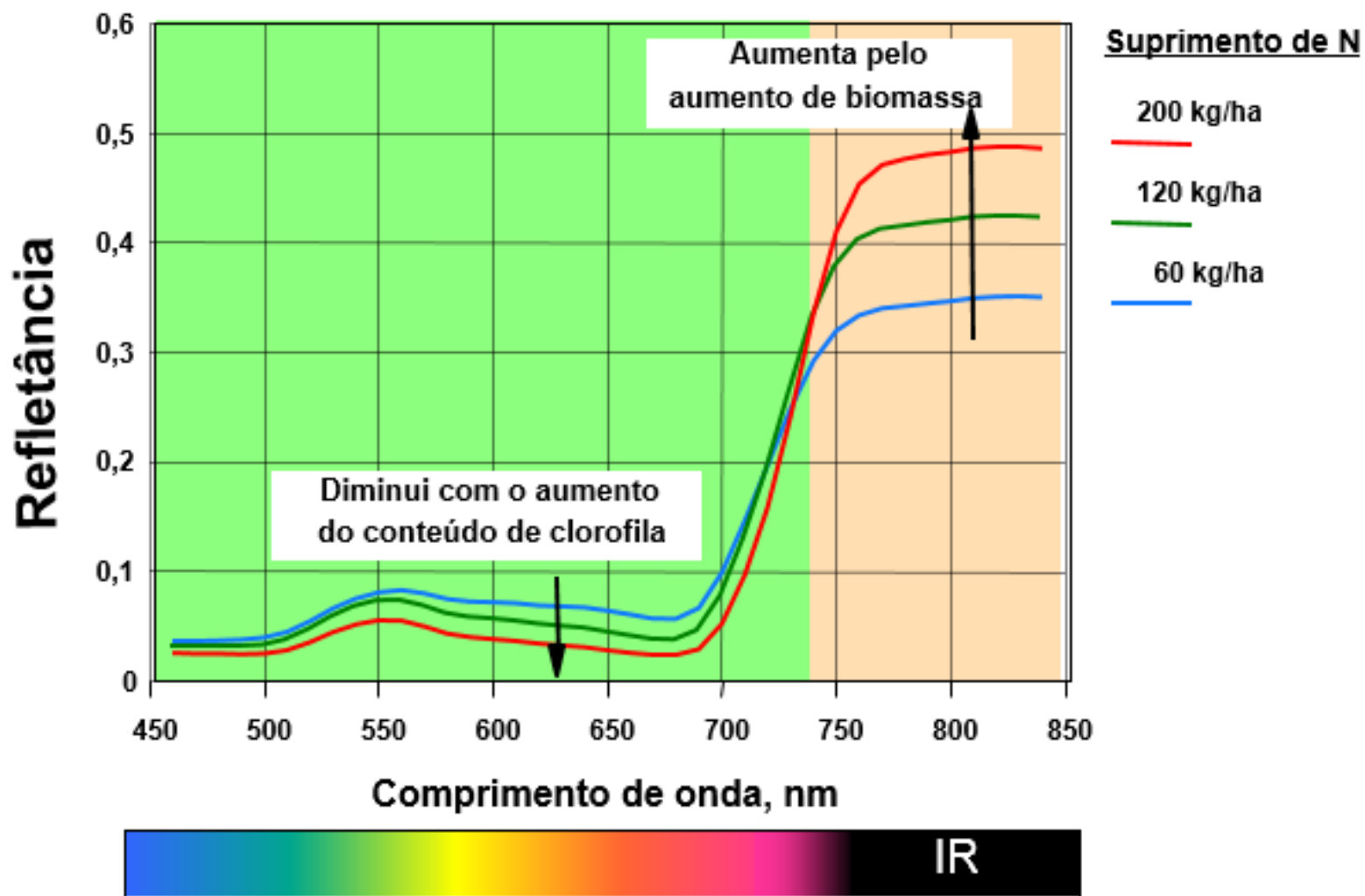


GreenSeeker (Trimble/GeoAgri)

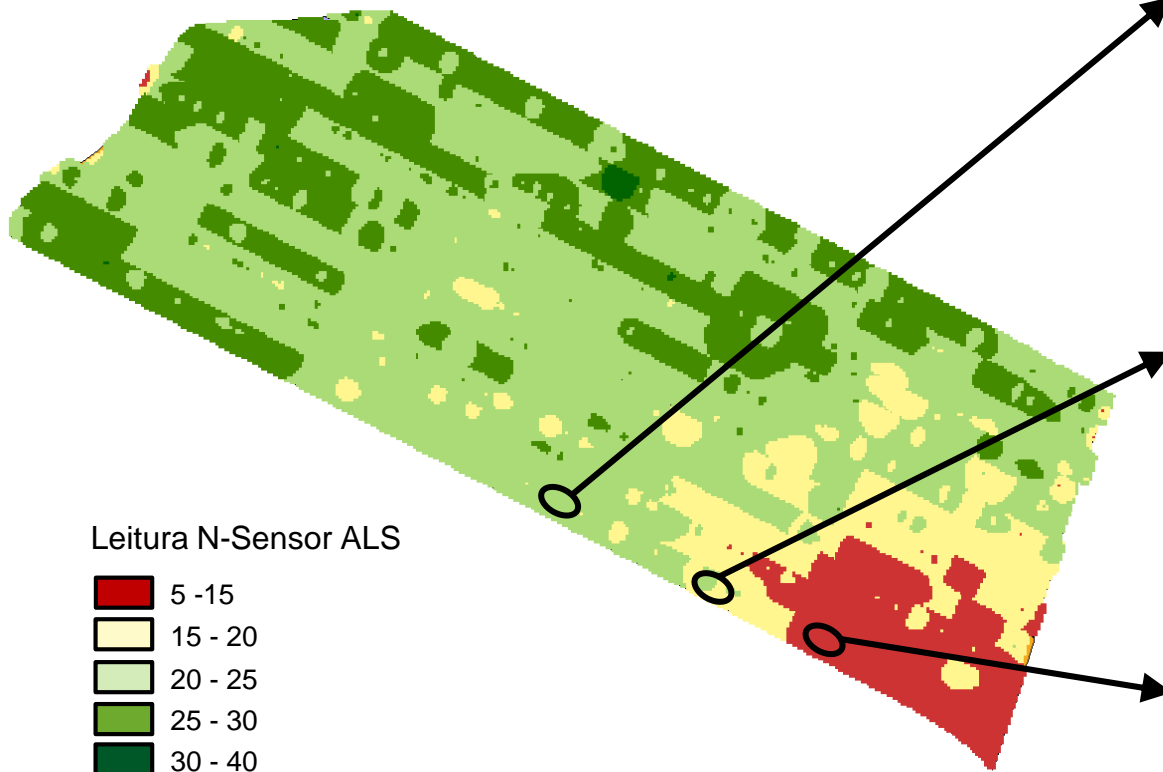
Os sensores de dossel se baseiam no comportamento espectral das plantas



Vigor



# Identifica a variabilidade espacial no desenvolvimento da cana



# Estimativa de produtividade



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



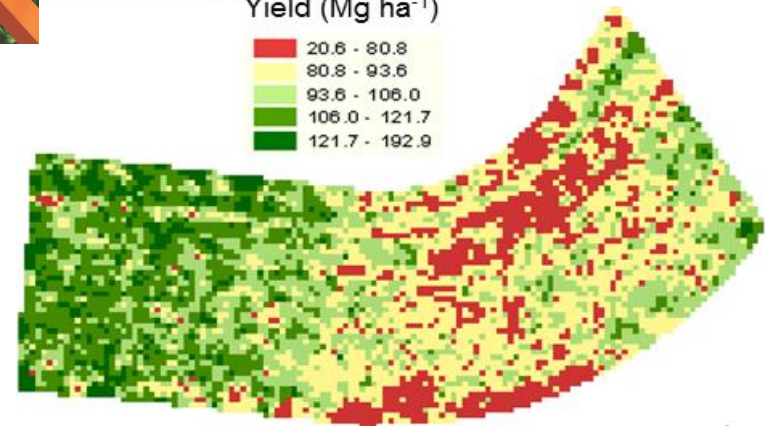
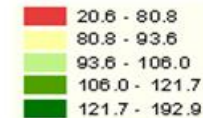
Algorithm for Variable-Rate Nitrogen  
Application in Sugarcane Based on Active Crop  
Canopy Sensor



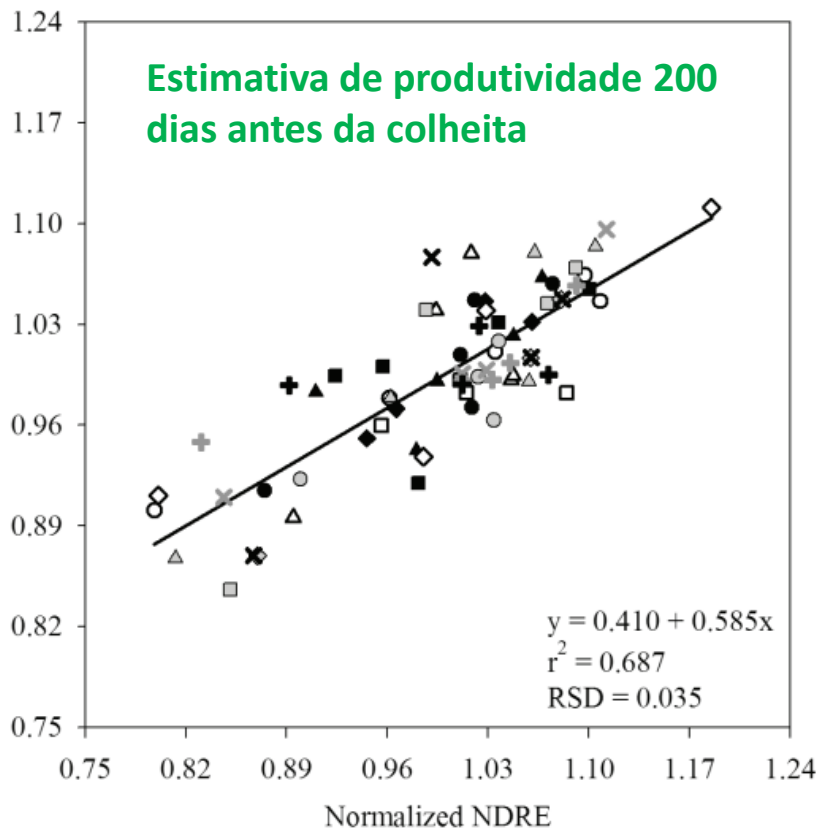
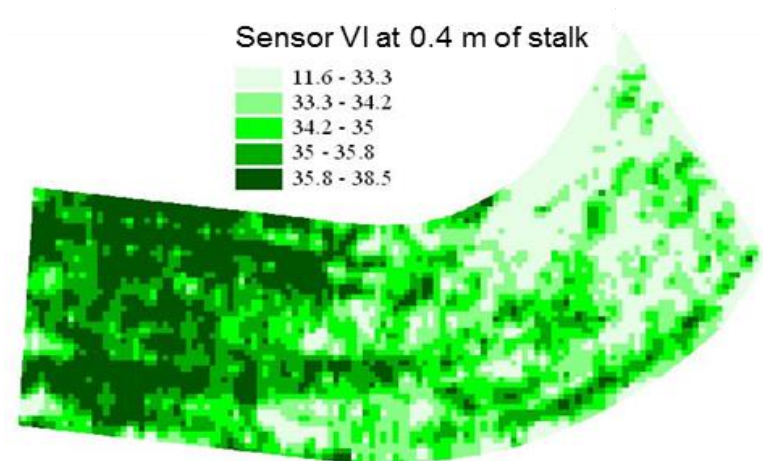
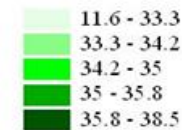
Lucas R. Amaral <sup>\*a</sup>, José P. Molin <sup>a</sup> and James S. Schepers <sup>b</sup>

Agronomy Journal, v. 107, 2015

Yield (Mg ha<sup>-1</sup>)



Sensor VI at 0.4 m of stalk



Fields

- 1
- 2
- 3
- ▲ 4
- △ 5
- △ 6
- 7
- 8
- 9
- ◆ 10
- ◇ 11
- ◇ 12
- × 13
- × 14
- +
- +

Fig. 5. Relationship between the normalized difference red edge (NDRE) canopy sensor readings and normalized stalk yield. (RSD: residual standard deviation of prediction.)

**Análise dos dados e  
tomada de decisão**

**Medição**

**Aplicação**



## Vantagens:

- Uma única entrada
- Aplicação imediata
- Dia e noite

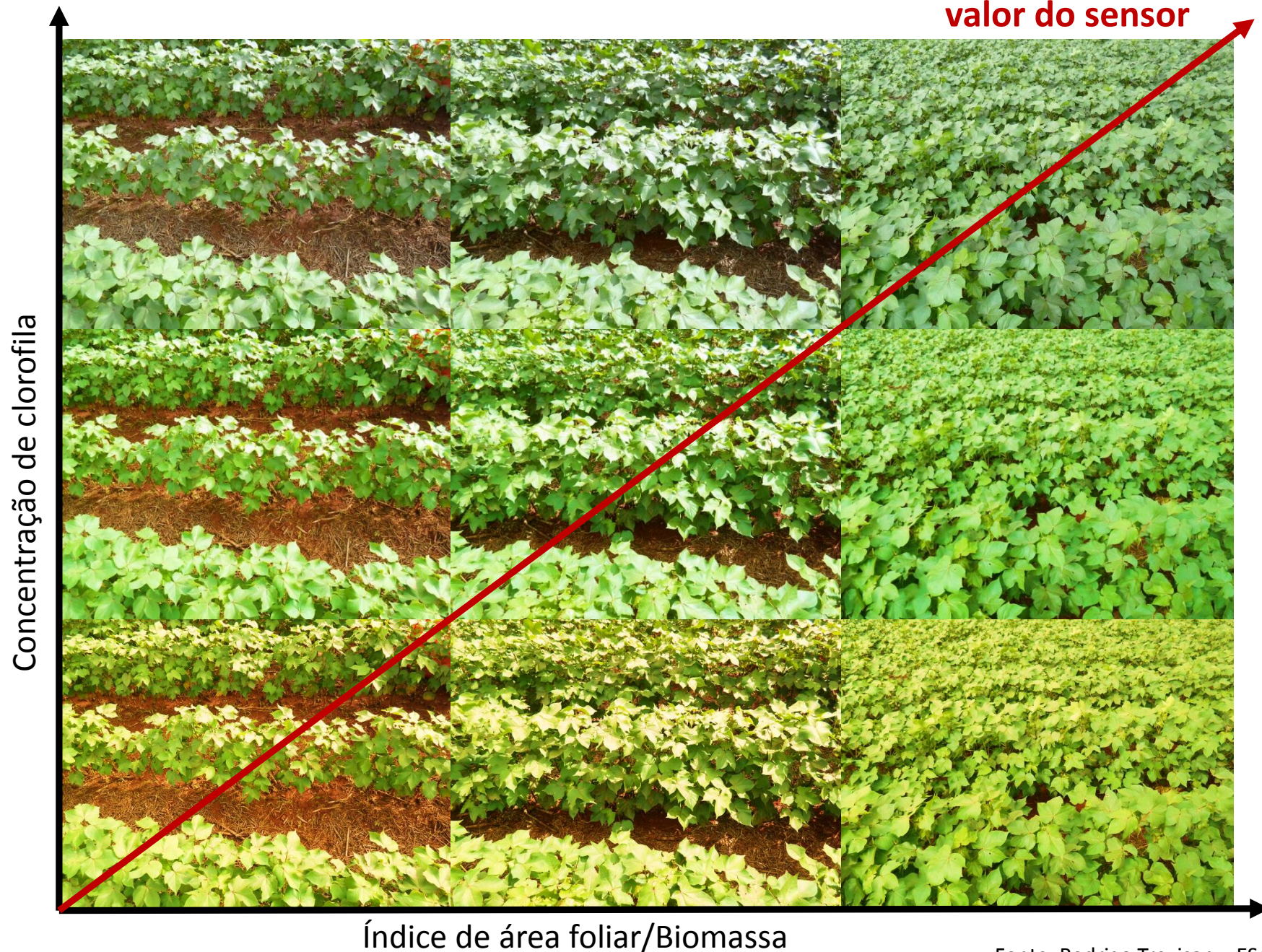
## Tempo de resposta dos aplicadores

- 2-3 seg.
- 15 km/h  $\approx$  4 m/s
- Deslocamento de 12m
- ✓ Redução de velocidade /  
adubação líquida /  
mapeamento prévio



# O problema do valor advindo do sensor

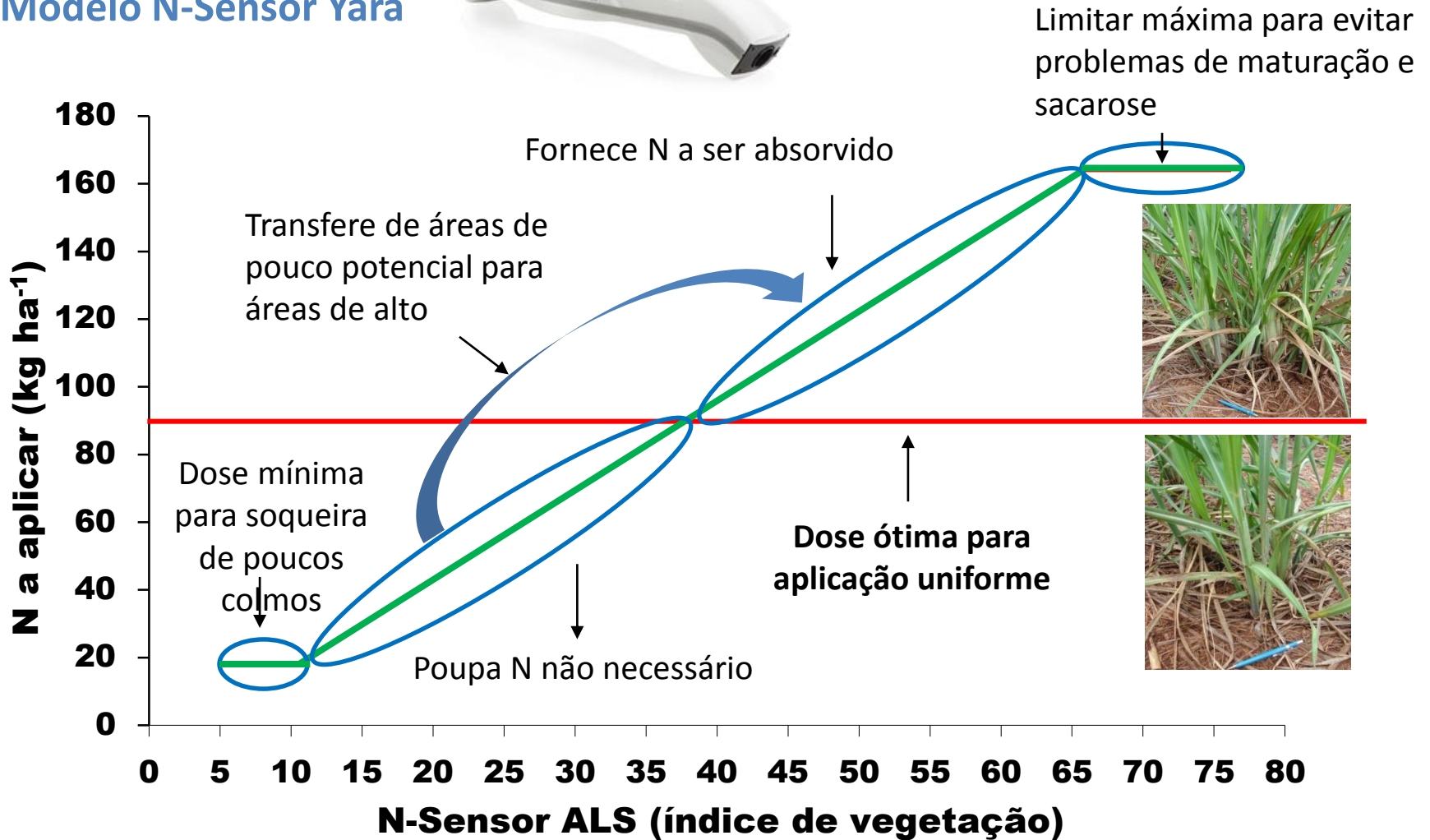
Acúmulo de N /  
valor do sensor





# Exemplo de forma de aplicação de N por meio de leitura de sensor de dossel

## Modelo N-Sensor Yara



# Outro exemplo de algoritmo

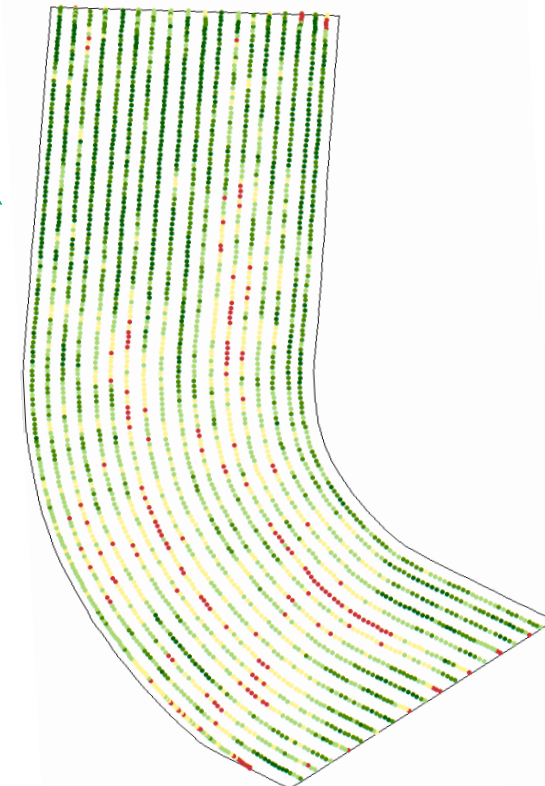


## Modelo GS-6200 (Otmis/Jacto)

$$N_{ap} = \left[ 0,459 + \left( \frac{NDRE_{pt}}{NDRE_{md}} \right) * 0,541 \right] * P_{est} * N_{kt} * \left( 1 - \frac{N_{ex}}{100} \right)$$



1.  $NDRE_{md}$ : valor médio do sensor para o talhão;
2.  $NDRE_{pt}$ : valor de cada leitura na área a ser fertilizada;
3.  $P_{est}$ : produtividade média estimada para o talhão ( $t\ ha^{-1}$ );
4.  $N_{kt}$ : demanda de N por tonelada ( $kg\ t^{-1}$ );
5.  $N_{ex}$ : é a porcentagem da demanda por N extraída até o momento da leitura (%).





**Momento adequado para leitura com o sensor:  
Com colmos de 40 a 60 cm de altura**

**0,2 m = cedo**



**0,5 m = adequado**



**0,7 m = tarde**





Passado

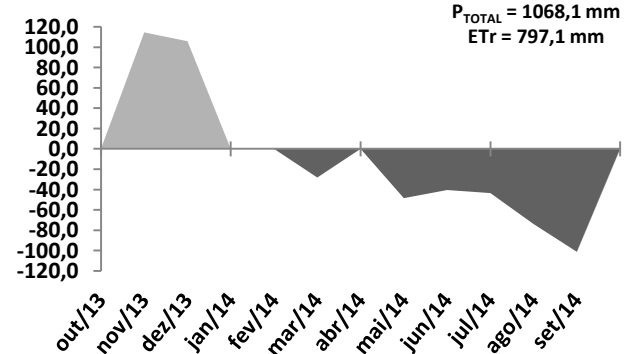
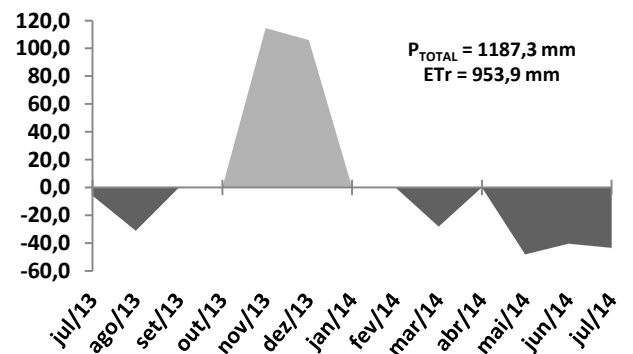
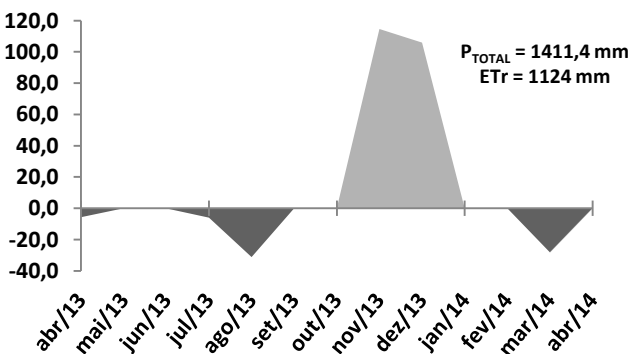
Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez

Atualidade

**COLHEITA: Maio**  
**ÉPOCA: 60 DAC**

**COLHEITA: Agosto**  
**ÉPOCA: 60 DAC**

**COLHEITA: Outubro**  
**ÉPOCA: 60 DAC**



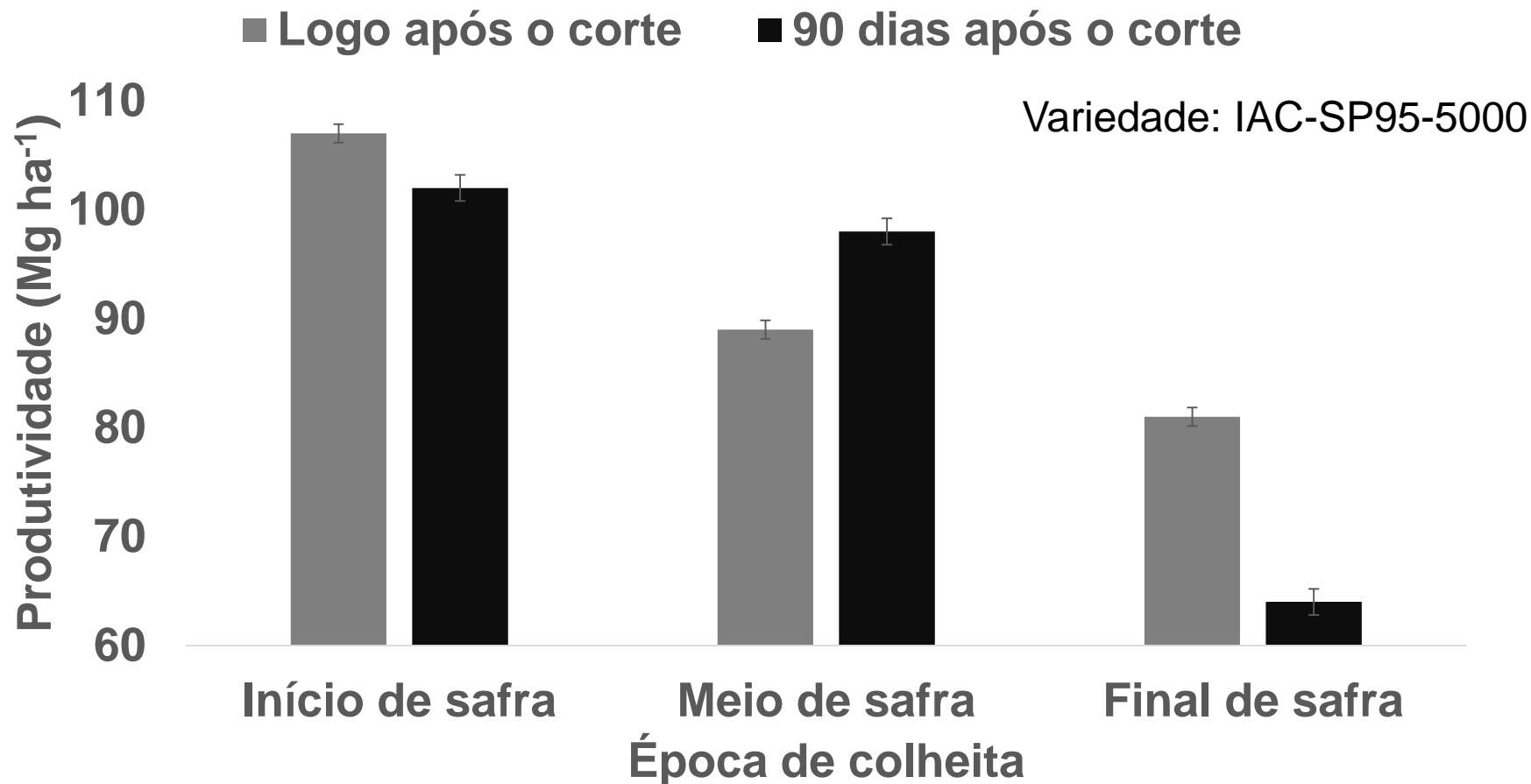
# Efeito da época de colheita e adubação com N na produtividade da cana-de-açúcar



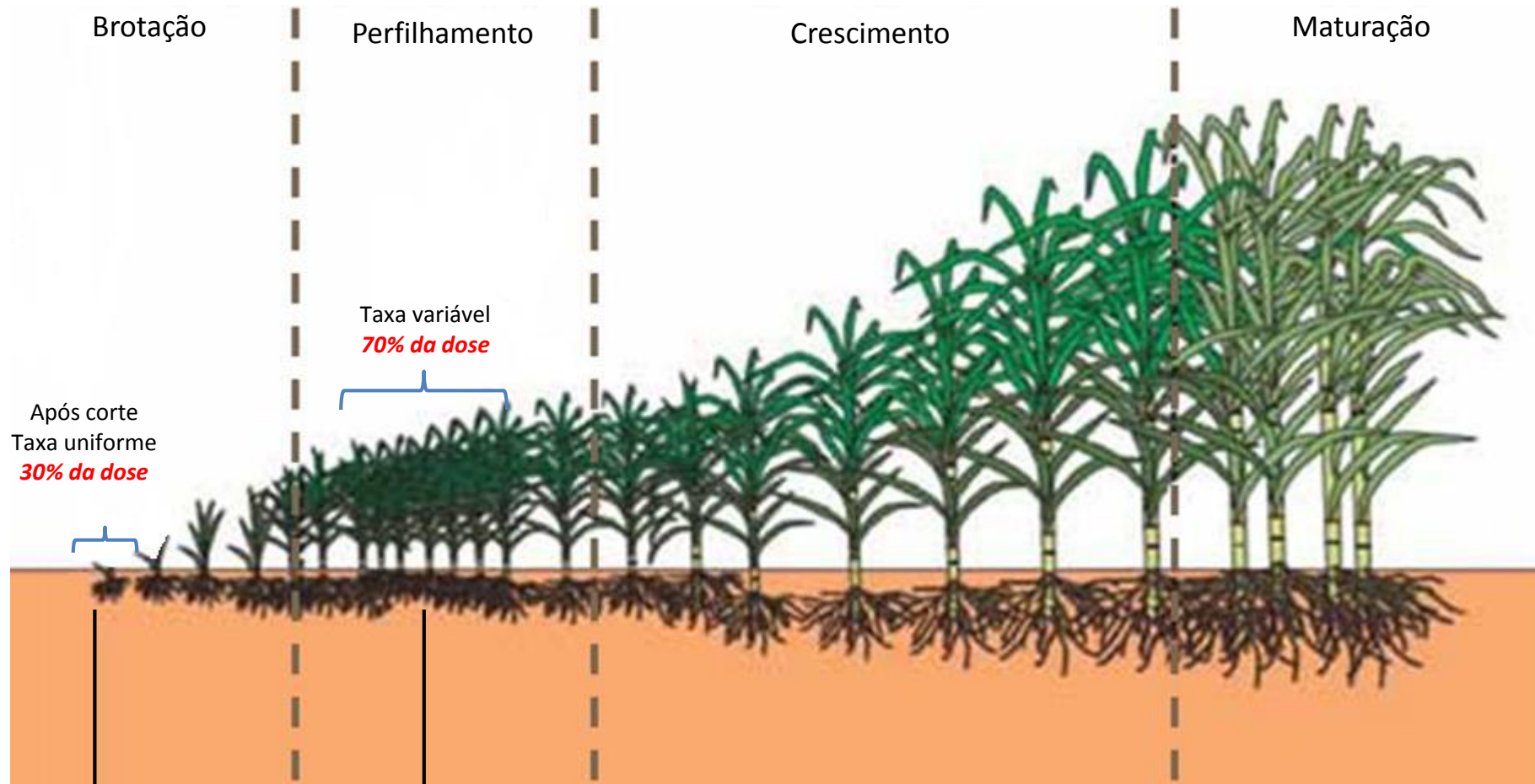
VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



Experimento conduzido por 3 anos – 2014 a 2016



# Estratégia Yara de aplicação na cana



Após corte  
Taxa uniforme  
**30% da dose**

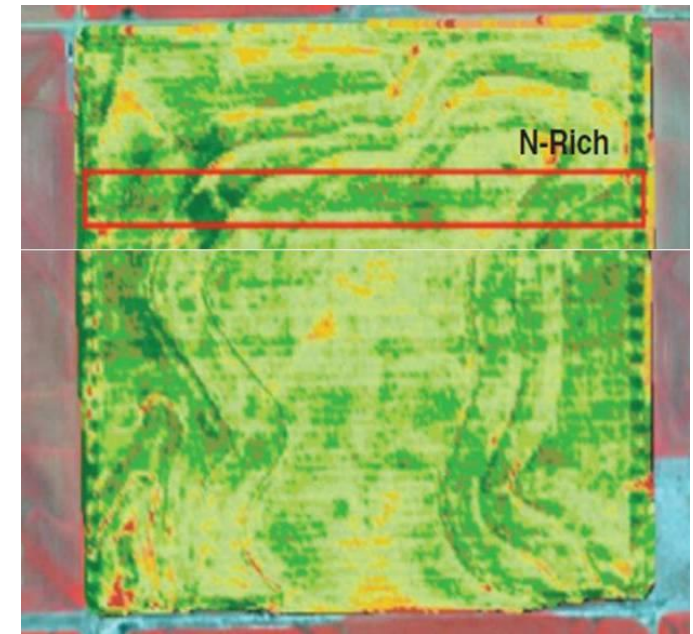
Taxa variável  
**70% da dose**

Para estimular perfilamento e  
suprir N inicial

Para suprir N de acordo com a densidade de perfilhos =  
extração de N e reduzir aborto de perfilhos.

# Mas ainda não chegamos na melhor opção

## ✓ Avaliação da resposta da cultura ao N



O conceito da faixa rica em nitrogênio



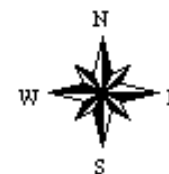
# Resposta ao N é variável

Zona com baixo vigor

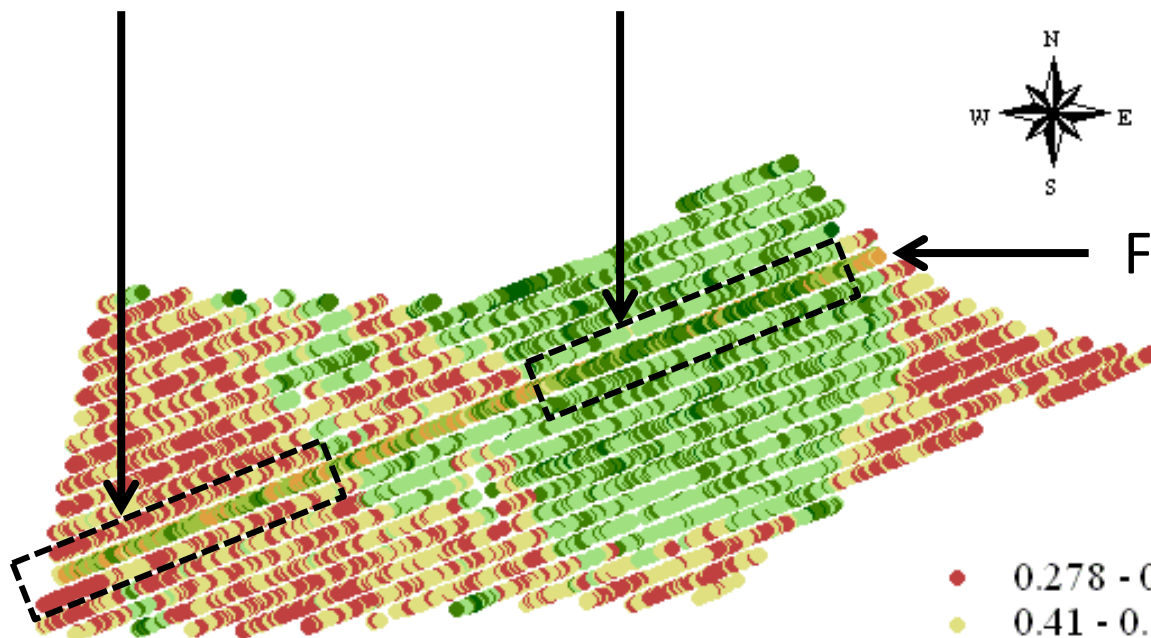
RI = 1,29

Zona com alto vigor

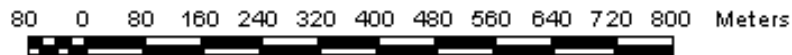
RI = 1,15



Faixa rica



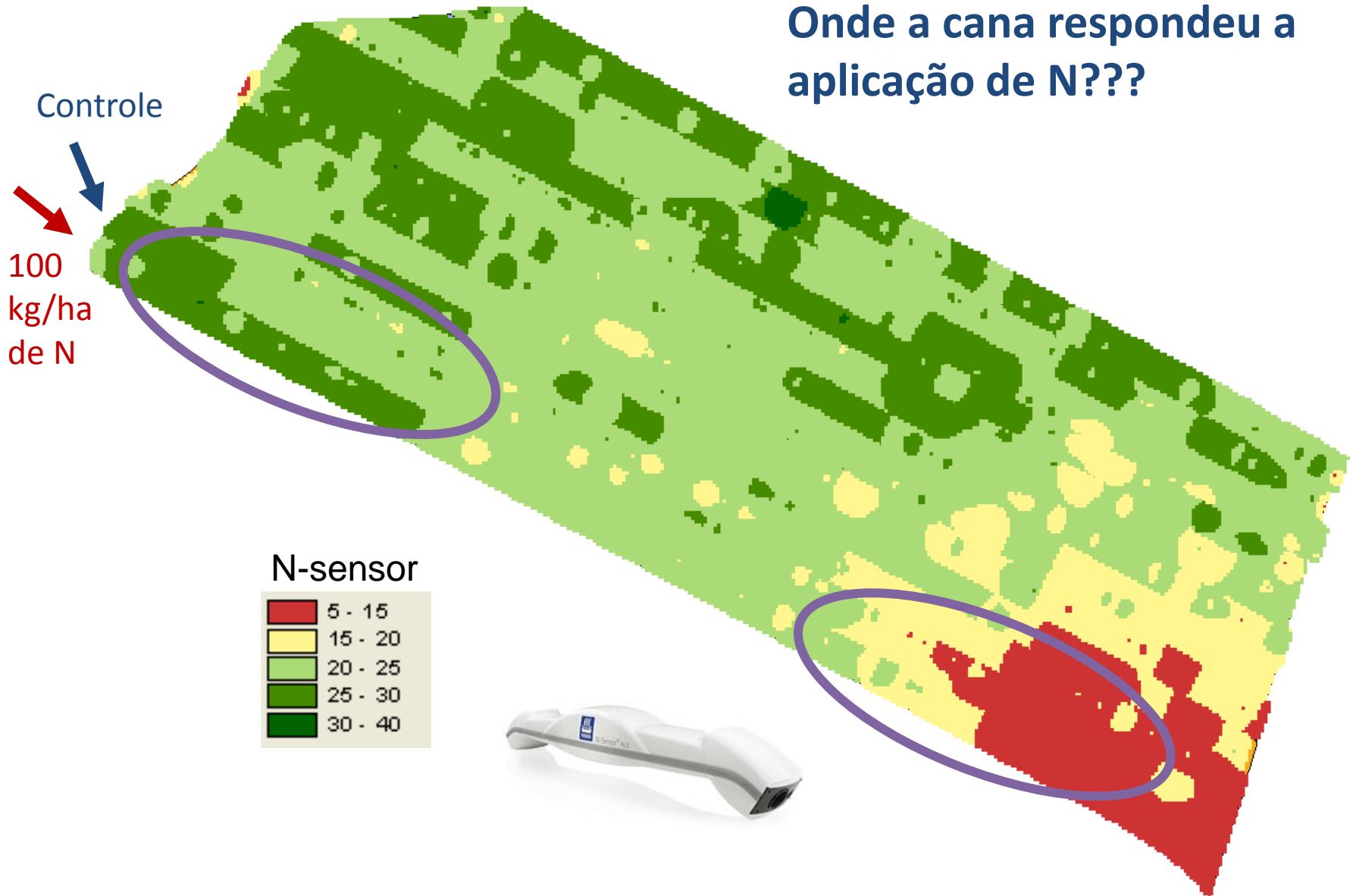
- 0.278 - 0.41
- 0.41 - 0.45
- 0.45 - 0.492
- 0.492 - 0.554
- 0.554 - 0.71







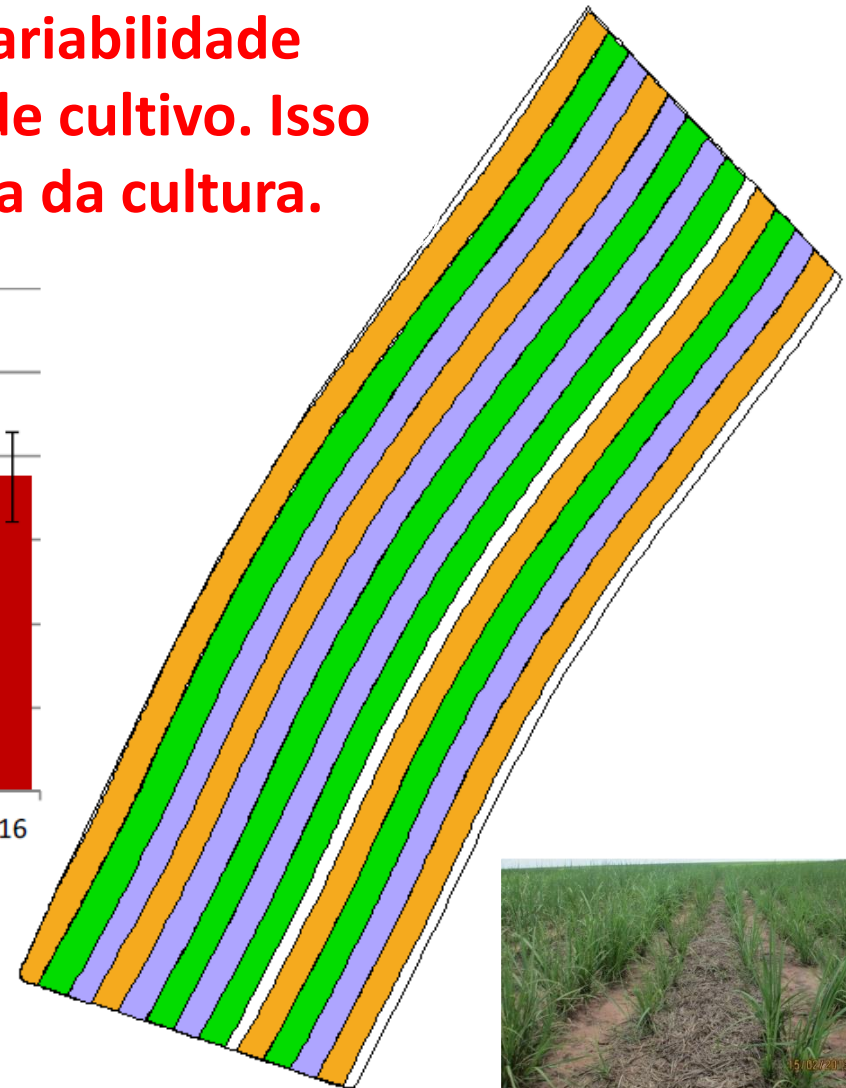
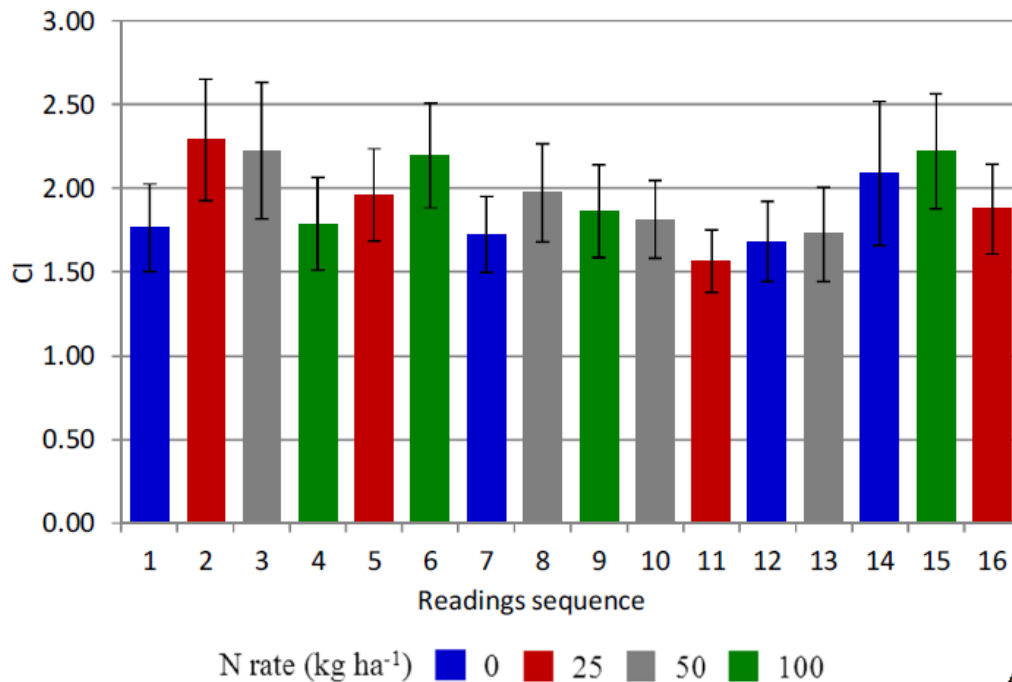
## Onde a cana respondeu a aplicação de N???



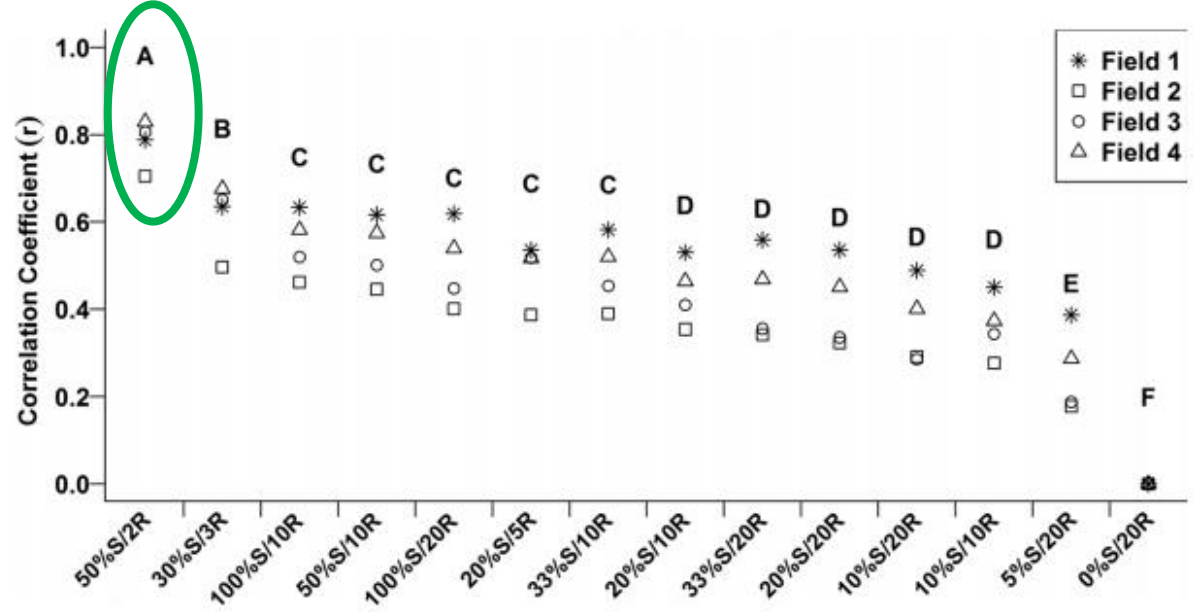
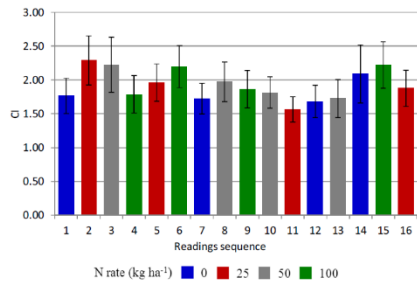
# PROBLEMA:



Os canaviais apresentam alta variabilidade intrínseca devido ao seu sistema de cultivo. Isso prejudica a avaliação da resposta da cultura.



# Necessidade de maior número de sensores e secções possíveis



**Fig. 4** Relationship among each real-time nitrogen application scenario compared to the reference (sensor on every row–100%S/1R). Scenarios with *same letter* are not statistically different by the Scott Knott test ( $p < 0.05$ )



AMARAL, L.R.; TREVISAN, R.G.; MOLIN, J.P. Canopy sensor placement for variable-rate nitrogen application in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, disponível online, 2017.

# Sensores de condutividade elétrica do solo



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR



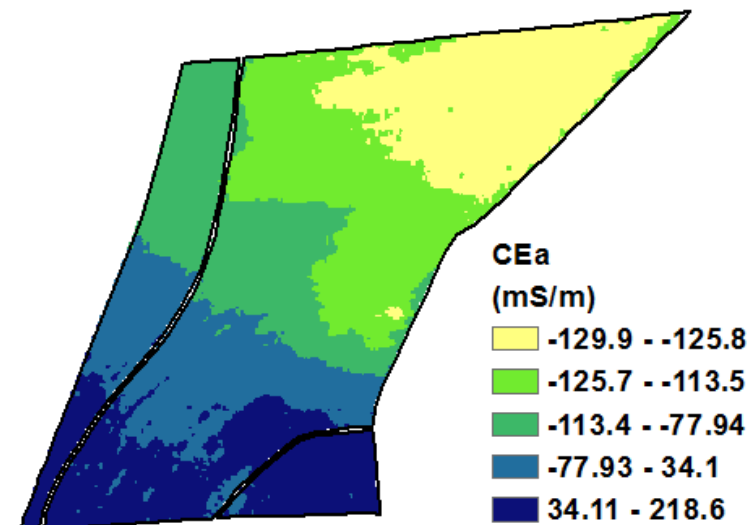
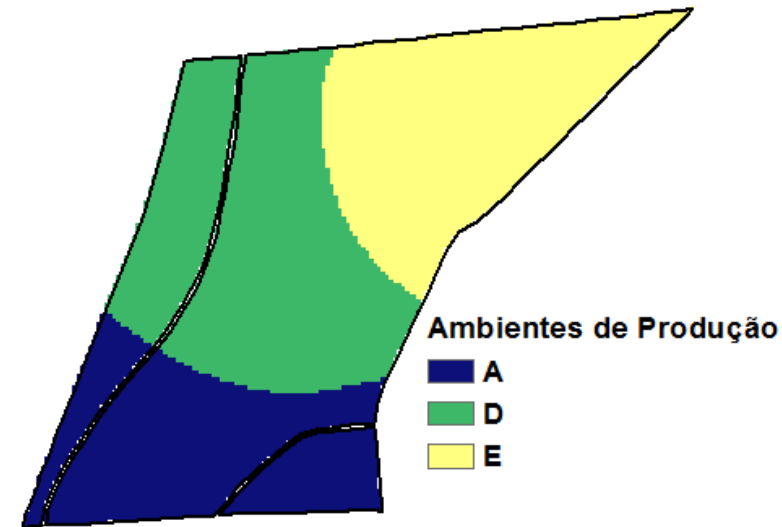
# Sensores de condutividade elétrica do solo



VIII SIMPÓSIO  
TECNOLOGIA DE  
PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR

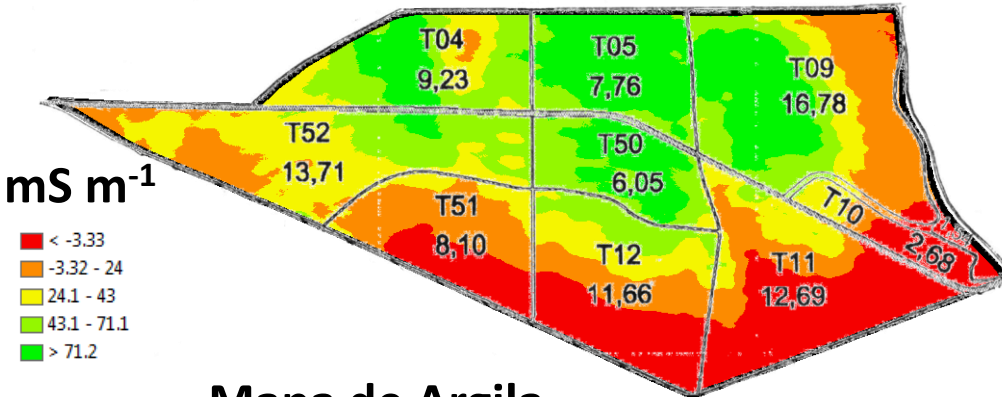


- O sinal elétrico emitido pelo sensor é influenciado pela combinação de fatores do solo
- Bom indicativo de variabilidade do solo
- Auxílio no mapeamento de classes de solo
- Ajuste de dose de nitrogênio

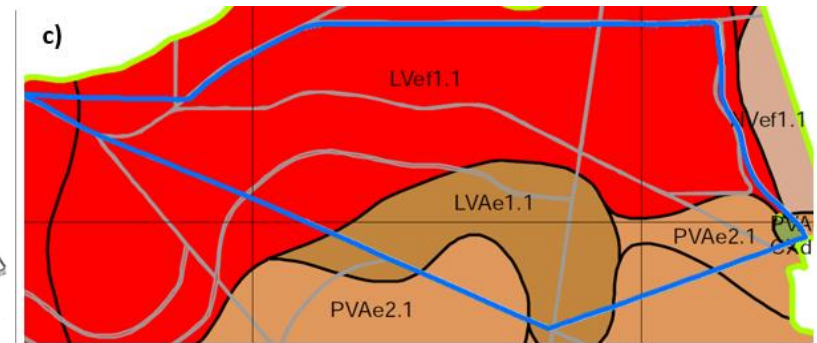


# Potencialidades de Aplicação da CEa

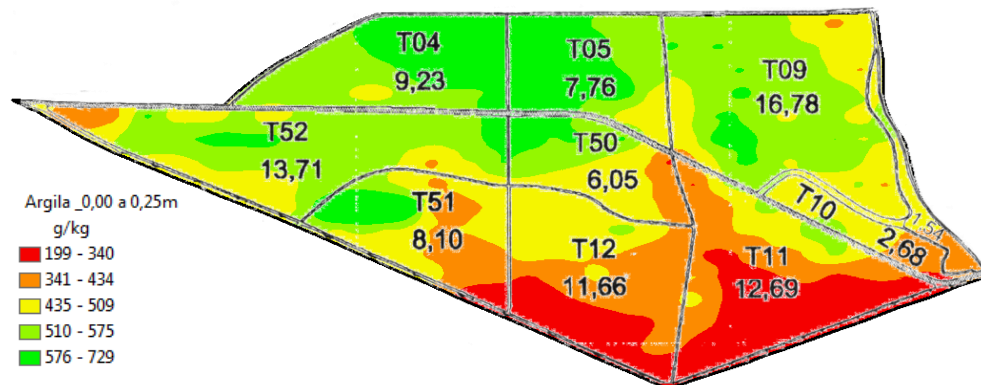
## Cond. Elétrica – 0,00 a 0,38m



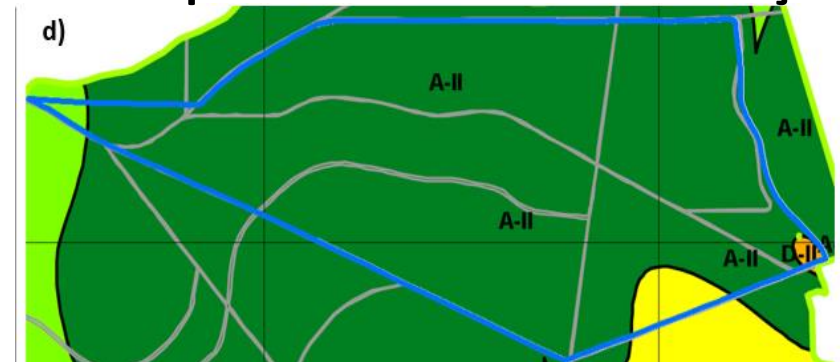
## Mapa de Solos



## Mapa de Argila



## Mapa de Ambientes de Produção



## Produtividade

Talhões 04, 05 e 09

Média de 110 Mg ha<sup>-1</sup>

Talhões 50 e 52

Média de 102 Mg ha<sup>-1</sup>

Talhões 10, 11, 12 e 51

Média de 94 Mg ha<sup>-1</sup>

# ADUBAÇÃO NITROGENADA DE SOQUEIRA EM TAXA VARIÁVEL: Avanços e Desafios

## OBRIGADO!!!

**Lucas Rios do Amaral**

lucas.amaral.unicamp@gmail.com

**Sergio G. Quassi de Castro**

sergio.castro@bioetanol.org.br



**Grupo Interdisciplinar de  
Tecnologia em  
Agricultura de Precisão**

[www.feagri.unicamp.br/gitap](http://www.feagri.unicamp.br/gitap)

