



AVALIAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA EM CANA-DE-AÇÚCAR BASEADA EM MODELOS

Fábio Cesar da Silva

Pesquisador Doutor

Embrapa Informática Agropecuária

Parceria: Unicamp e CENA/USP



**SIMPÓSIO SOBRE
POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**



SÃO PEDRO-SP, 22 a 24 de Setembro de 2004

1. INTRODUÇÃO





Produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool (Safrá 2003/04)

Brasil (> 60% no Estado SP):

- **Área plantada: 5 milhões de hectares**
Sudeste: 3,5 milhões ha / São Paulo: 3,0 milhões
- **Cana-de-açúcar produzida : 300 milhões de toneladas**
- **Açúcar: 20 milhões de toneladas**
- **Álcool hidratado: 5,0 milhões de m³**
- **Álcool anidro: 8,0 milhões de m³**
- **ATR: 149 kg/tonelada de cana-de-açúcar (Produtividade: 70 ton/ha)**

Fonte: ÚNICA (Informativo Orplana, março/2004)

Fertilizante na cultura:

- 20 a 30% do custo de produção:
N-uréia (US\$ 0,51/ kg N), P-SFT (US\$ 0,53/ kg P₂O₅) e
K-KCl (US\$ 0,38/ kg K₂O)

Sucesso: adubação balanceada /equilibrada e aprimoramento dos sistemas/
gerenciamento

**Decreto Estadual
No. 11.241
19/09/2002**

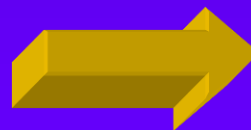
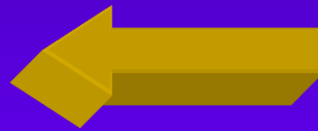
Estabelecimento de prazos

Proibição da queima

Máquinas colhedoras

**Mudanças no
manejo
da cultura**

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA

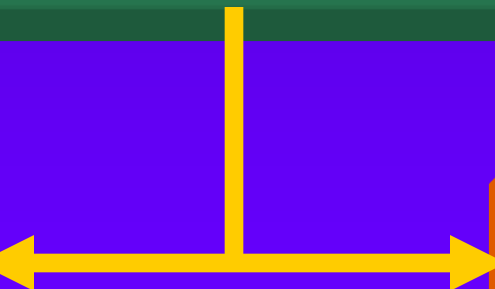


**Maiores limitações à
produtividade da
cana-de-açúcar**

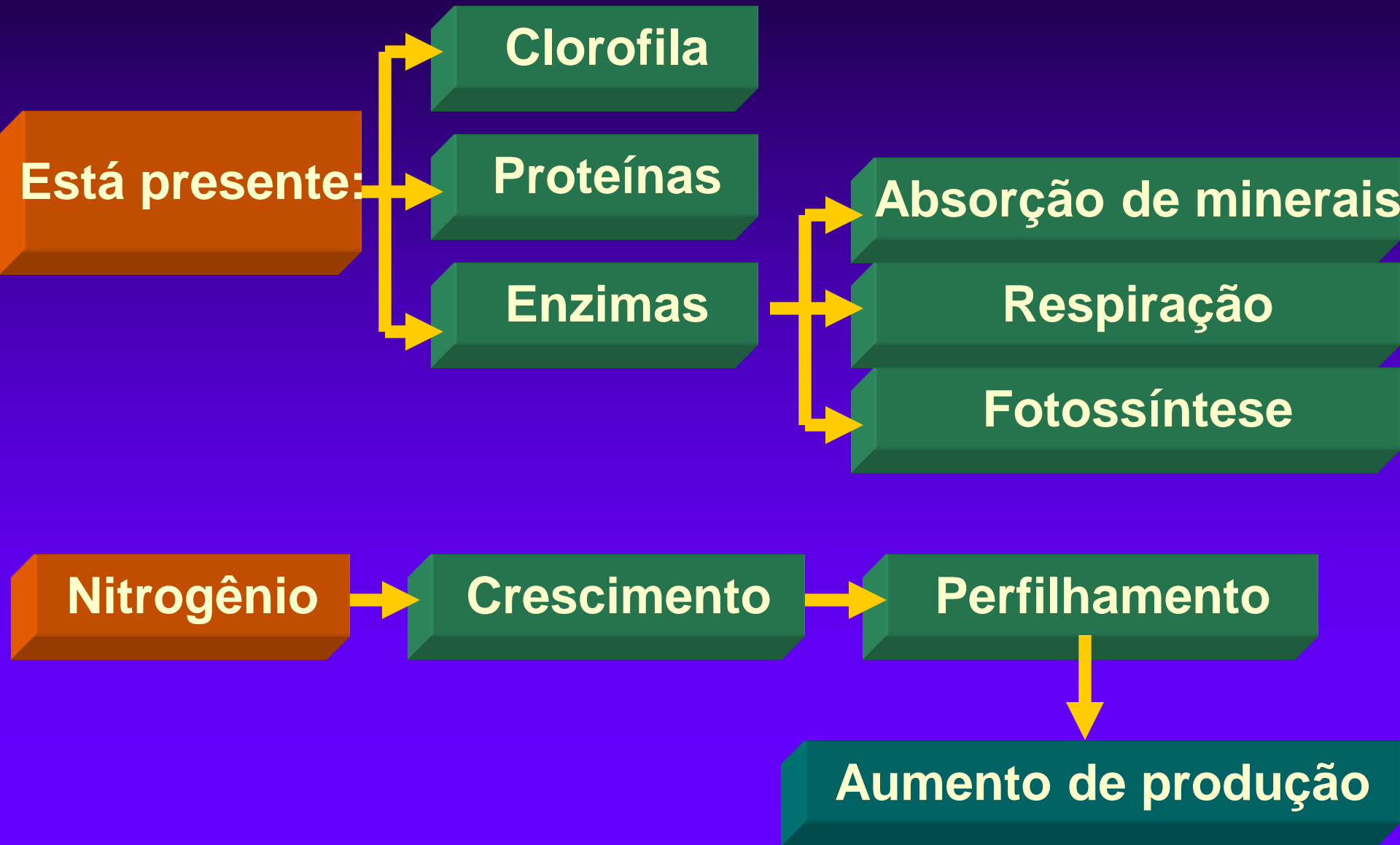
**Nutrientes minerais
nos solos**

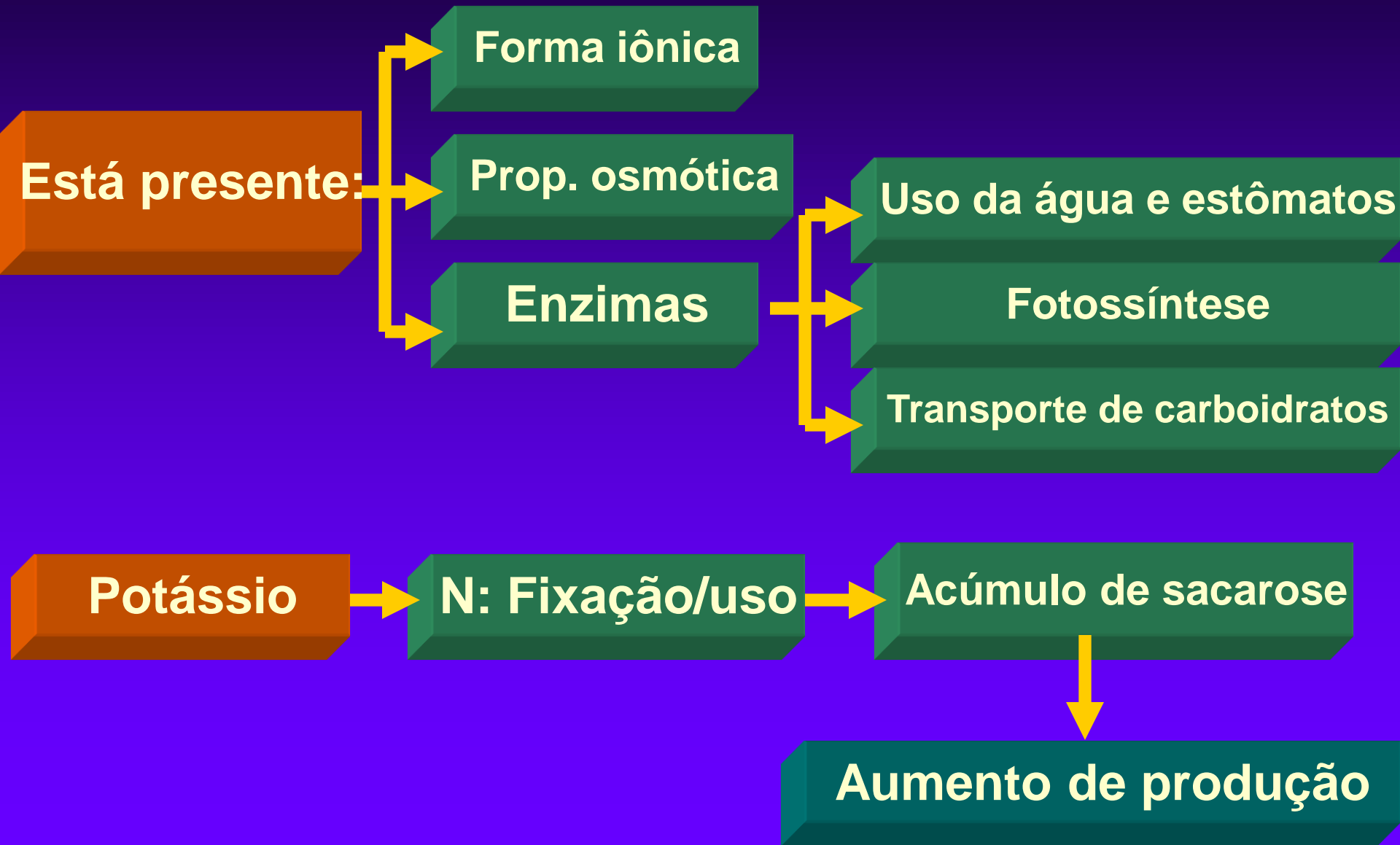
NITROGÊNIO

POTÁSSIO

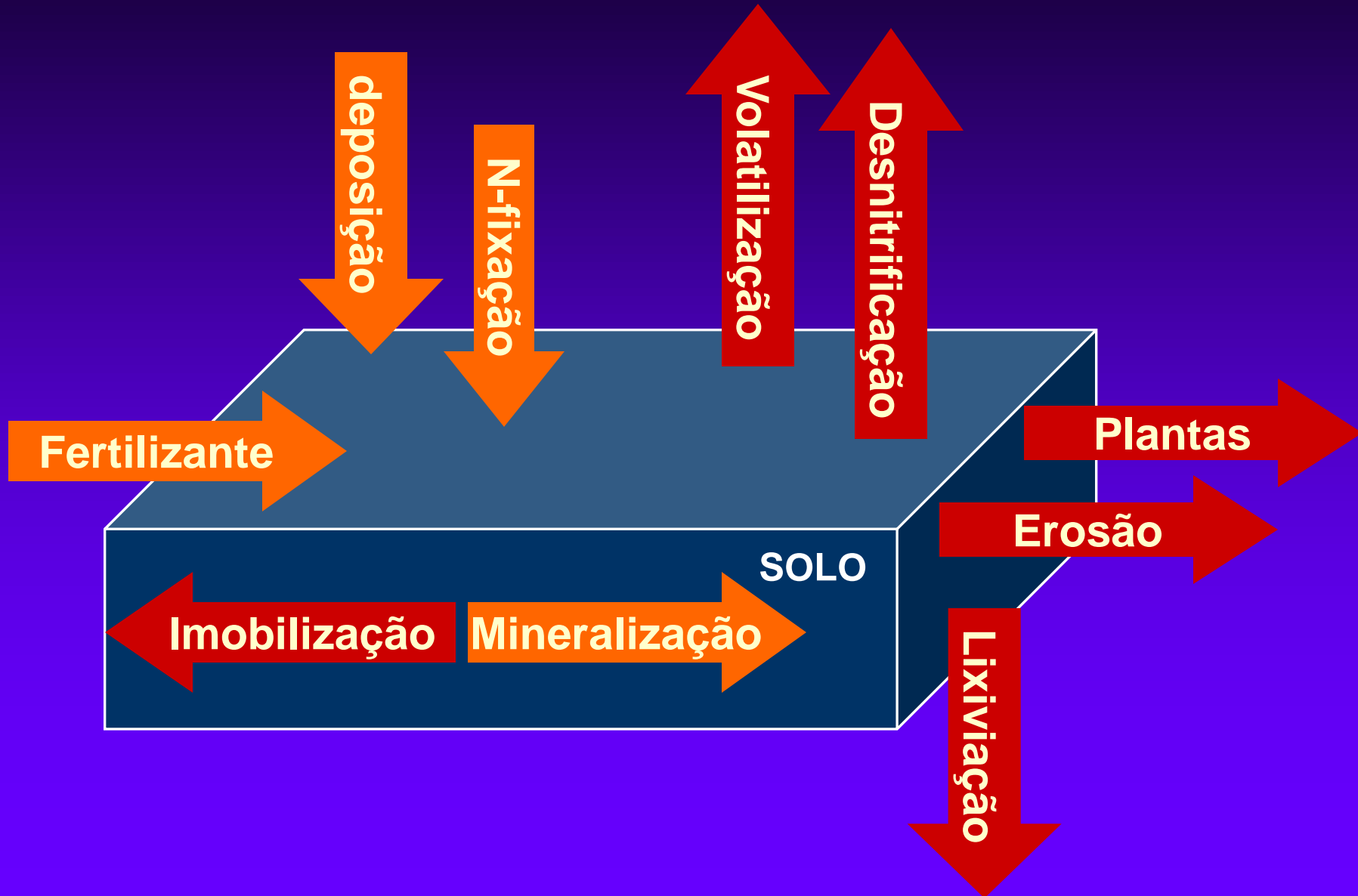


Nitrogênio:

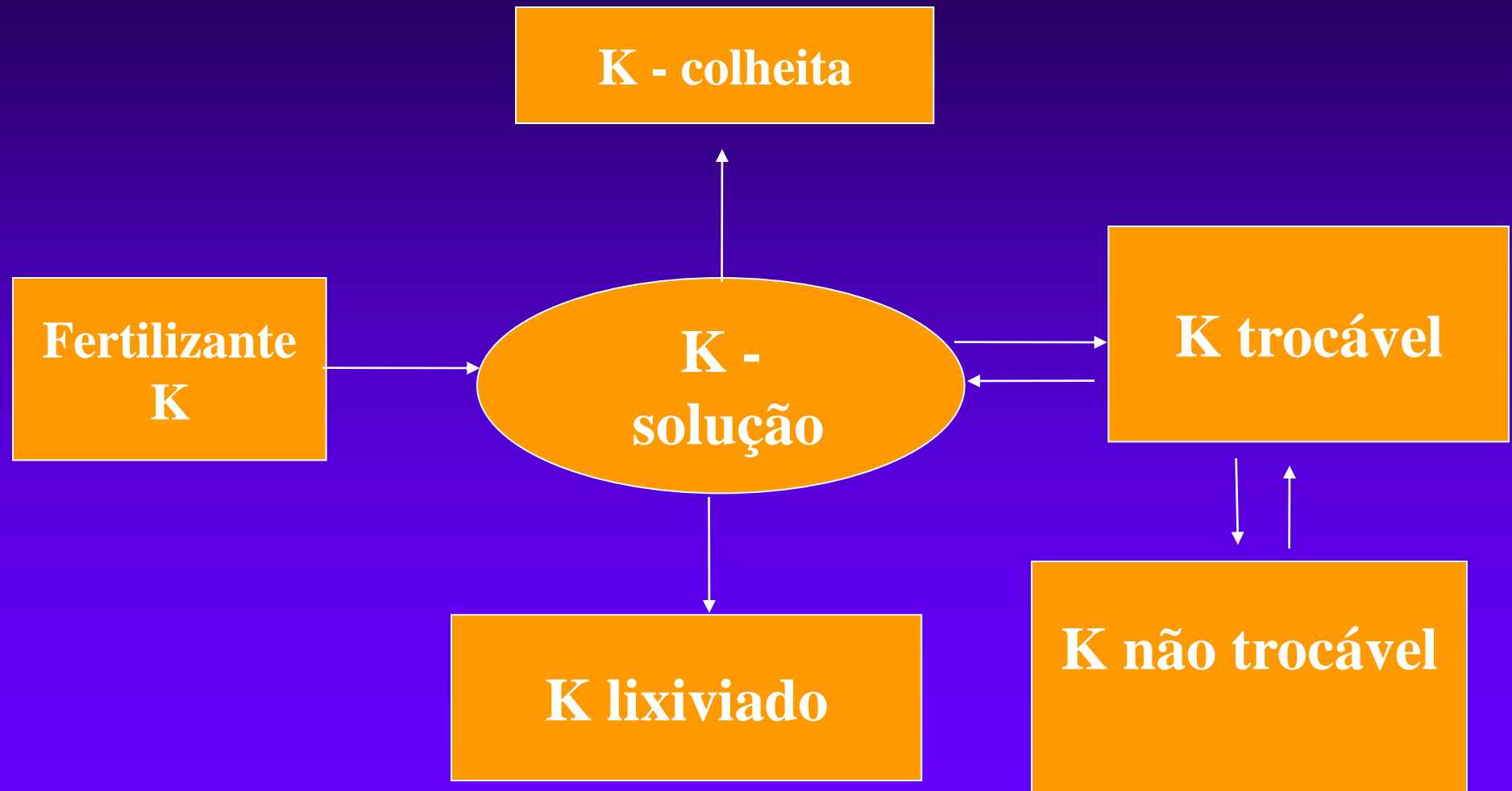




Processos do N:



DINÂMICA DO POTÁSSIO EM CANA-DE-AÇÚCAR



MODELAGEM MATEMÁTICA

Agrega o conhecimento

Mostra resultados - simulações

Responde questões

Gera discussões

Orientação na recomendação de N-fertilizante

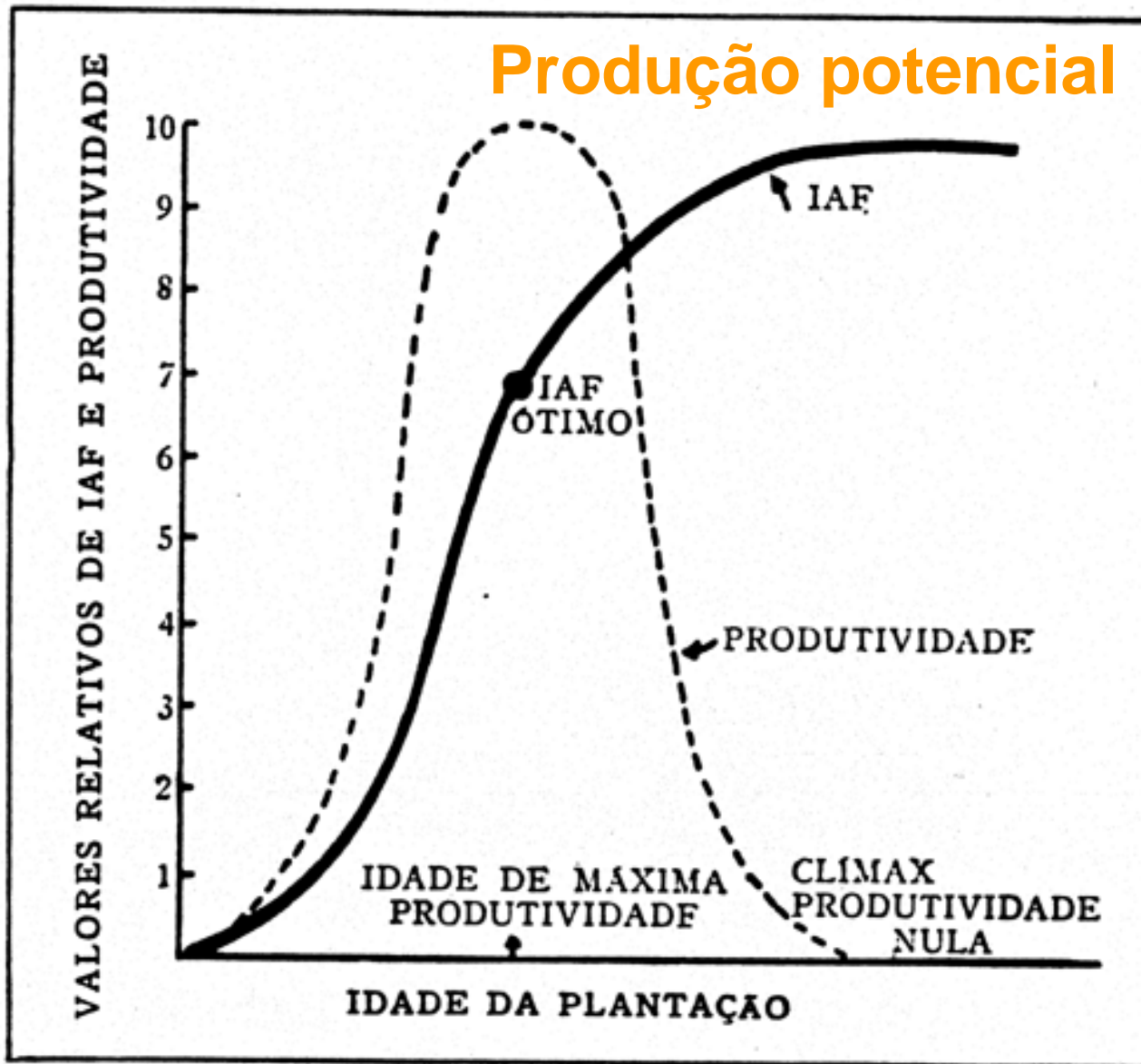
Melhoria na produtividade,
nos custos e no meio ambiente



Fatores que influenciam a produtividade da cana-de-açúcar:

- **Produção potencial** - Fatores que definem: CO_2 , radiação, temperatura e características da cobertura vegetal
- **Produção real** - Fatores de limitação:
 - a) água; b) nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio)
- **Produção atual** - Fatores de redução: pestes, enfermidades, contaminação

Índice de área foliar (IAF) e produtividade



- Relação entre índice de área foliar (IAF) e produtividade primária em função da idade de uma plantação.



UNICAMP

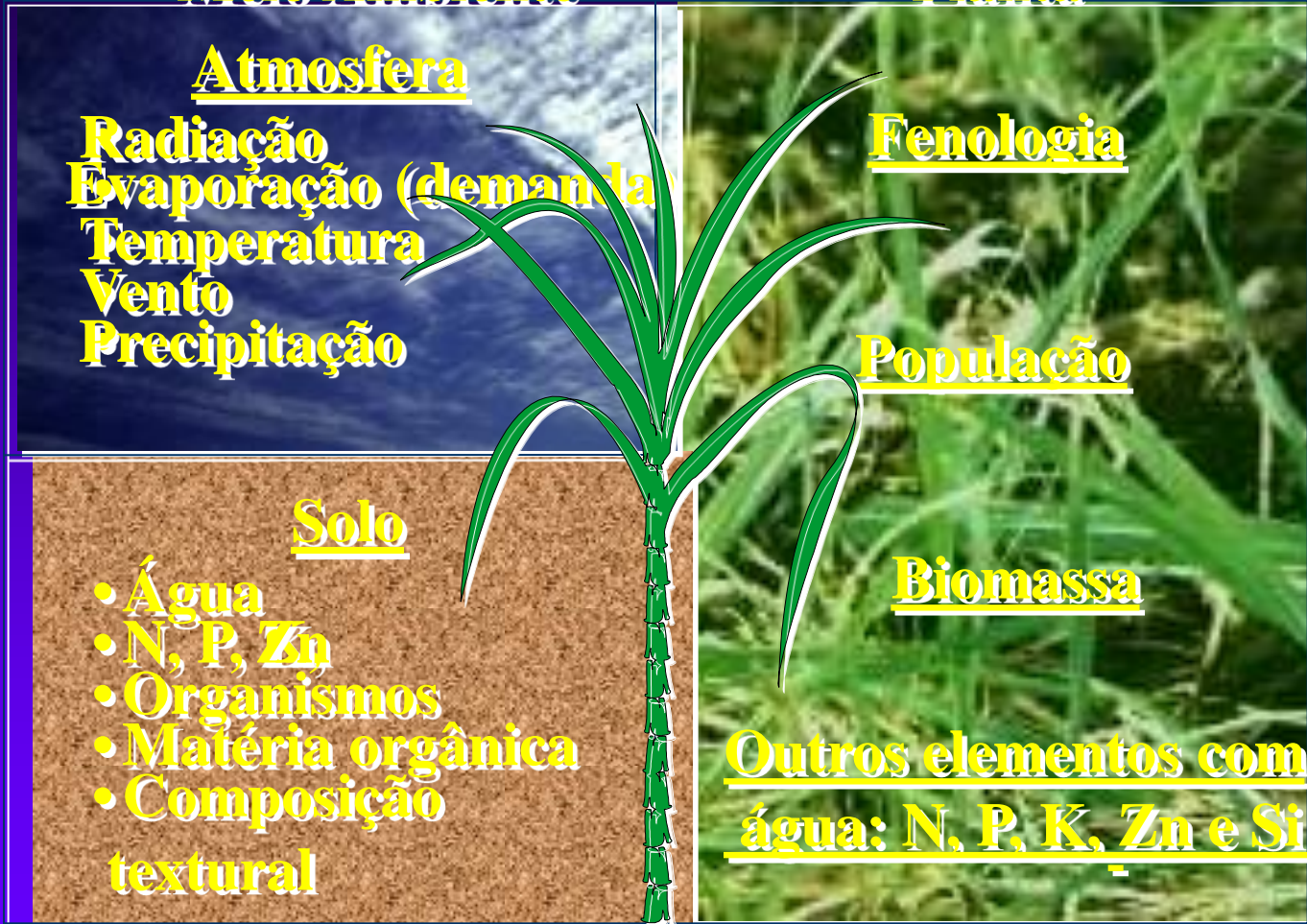
MODELO CANEGRO - DESCRIÇÃO:

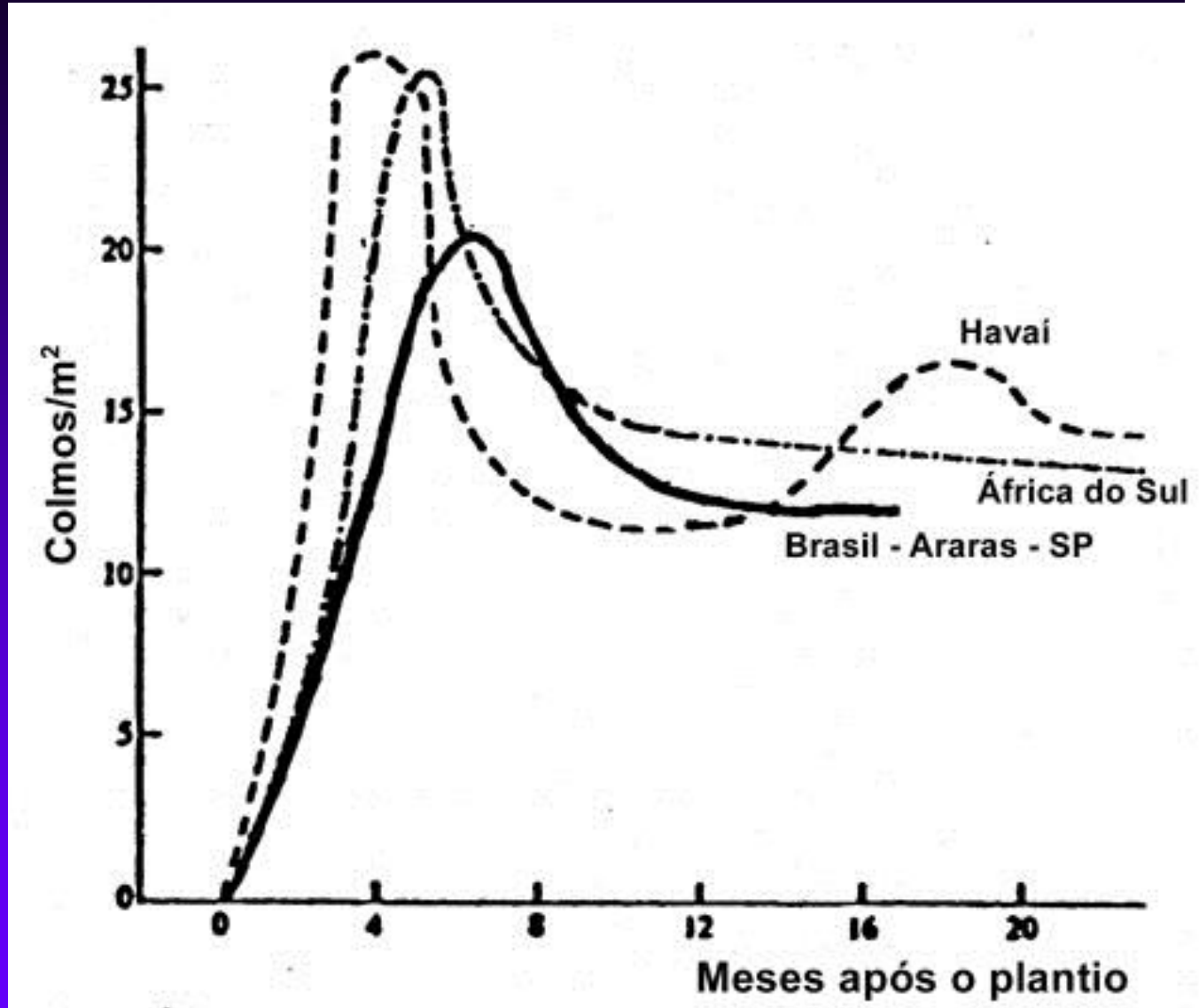


Revisão:

Meio Ambiente

Planta



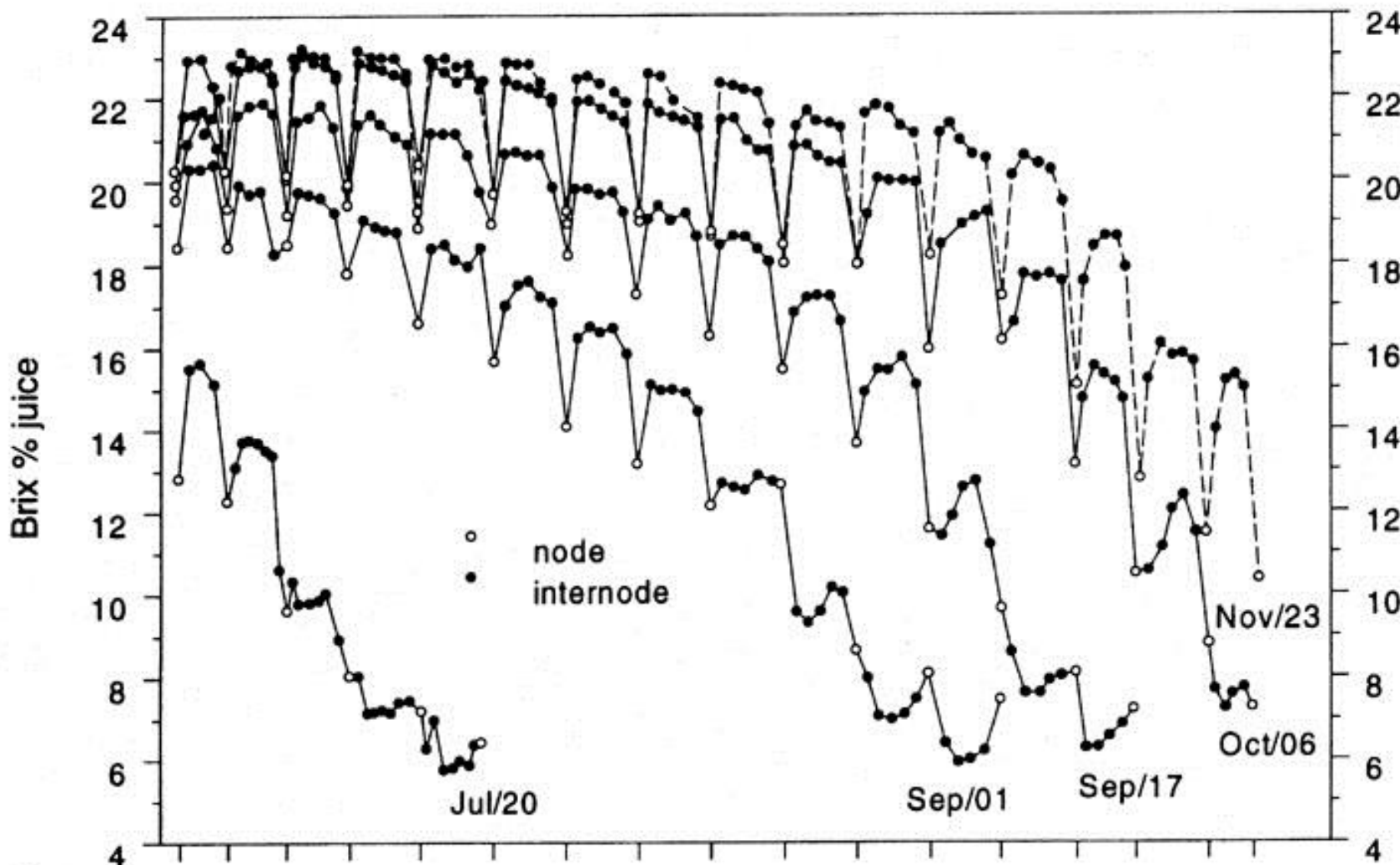


Diferenças no número de colmos durante o período de crescimento da cana-de-açúcar no Havaí. Fonte: Nickel et al. in: Barbieri, 1993.



UNIC

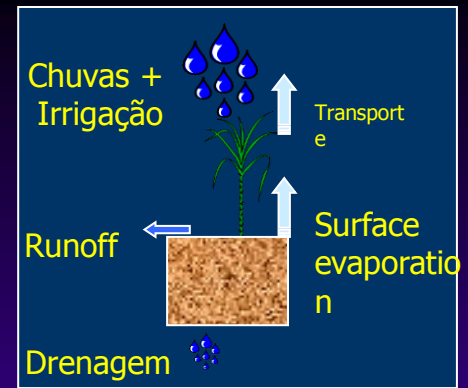
Distribuição do Brix



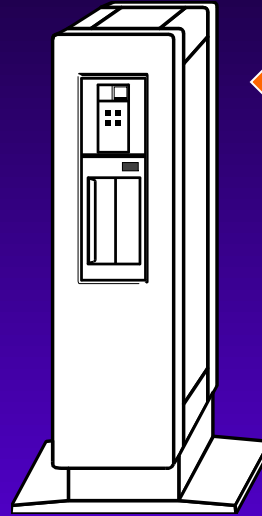
Distribuição do Brix ao longo do colmo principal da cana-de-açúcar em cinco datas de colheita (Fernandes & Benda, 1985).



INTRODUÇÃO



CANESIM



WWW Server

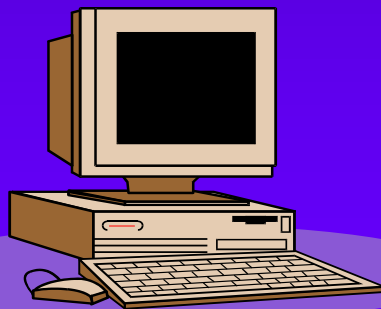
WWW Browser



Web Users

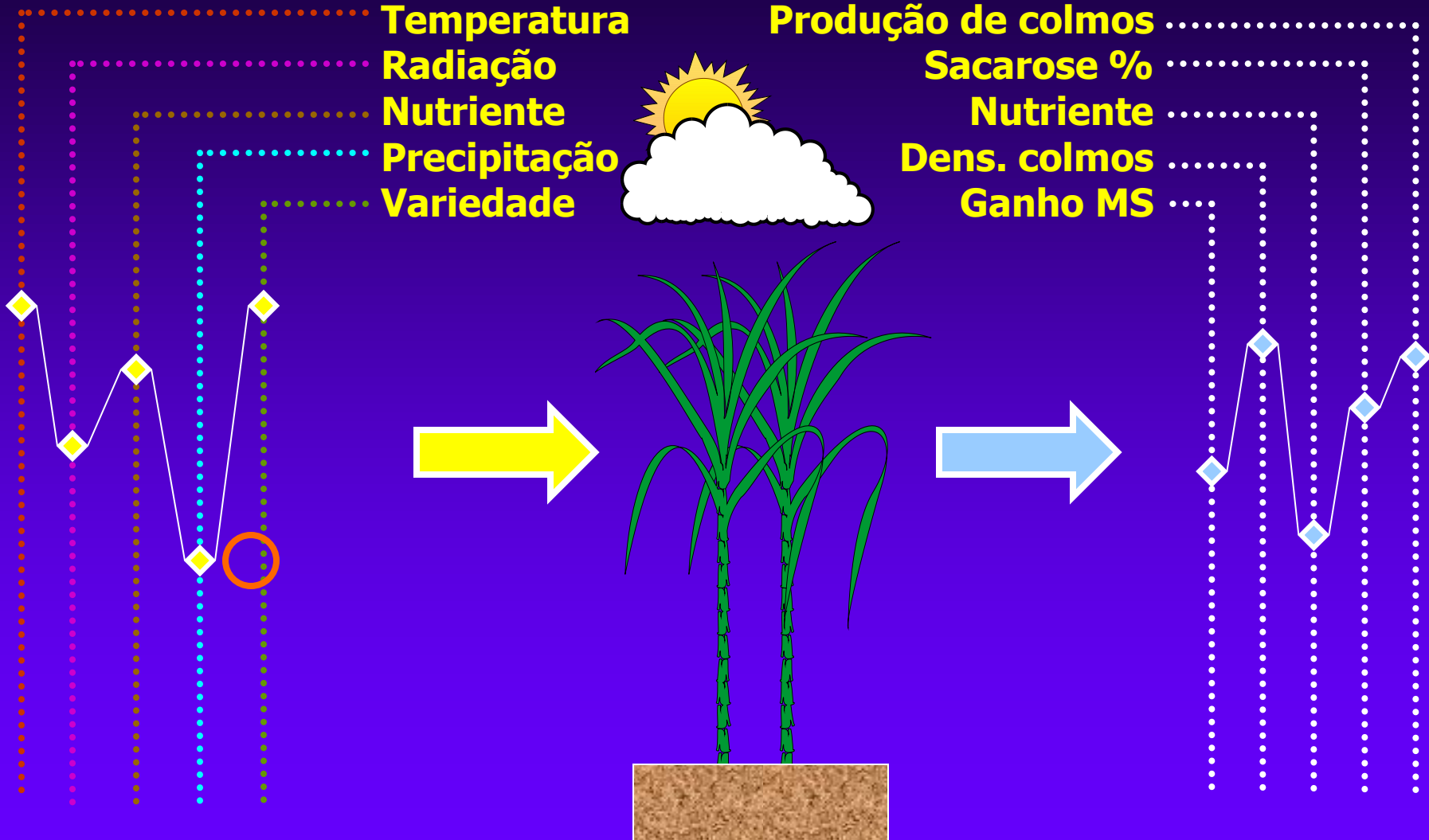
Ftp
AUTOMATICO

24 horas/modem
TRANSFERÊNCIA



Sistemas Computacionais

FATORES DA PRODUÇÃO

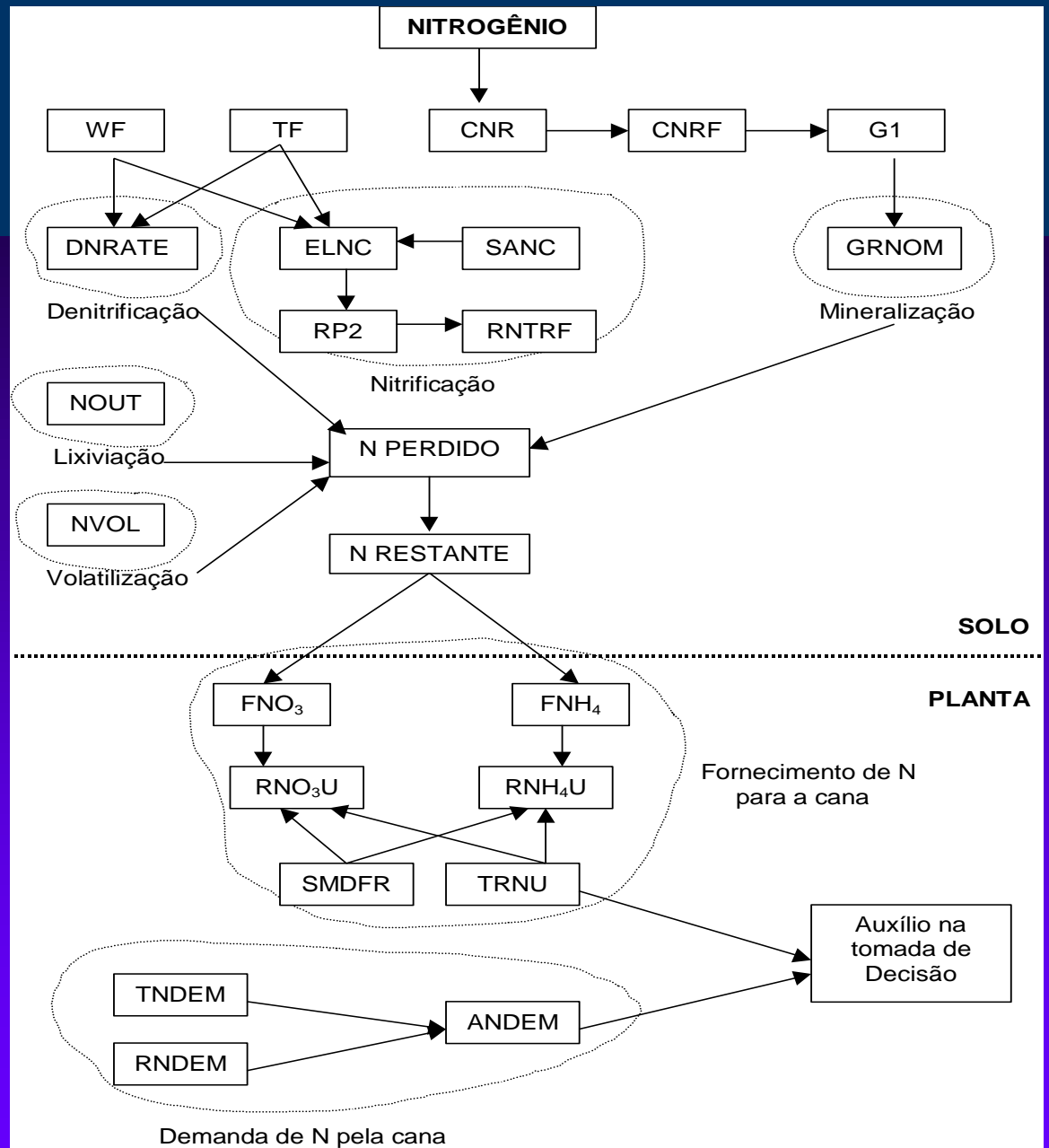




Modelo de Balanço de N no Sistema Solo - Cana-de-açúcar

Software STELLA

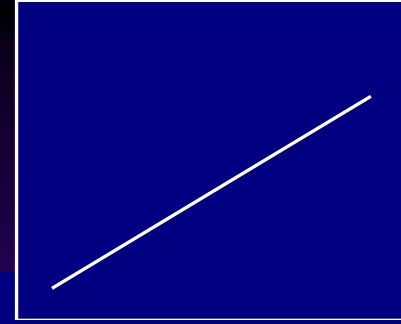
Modelo teórico: Balanço de N





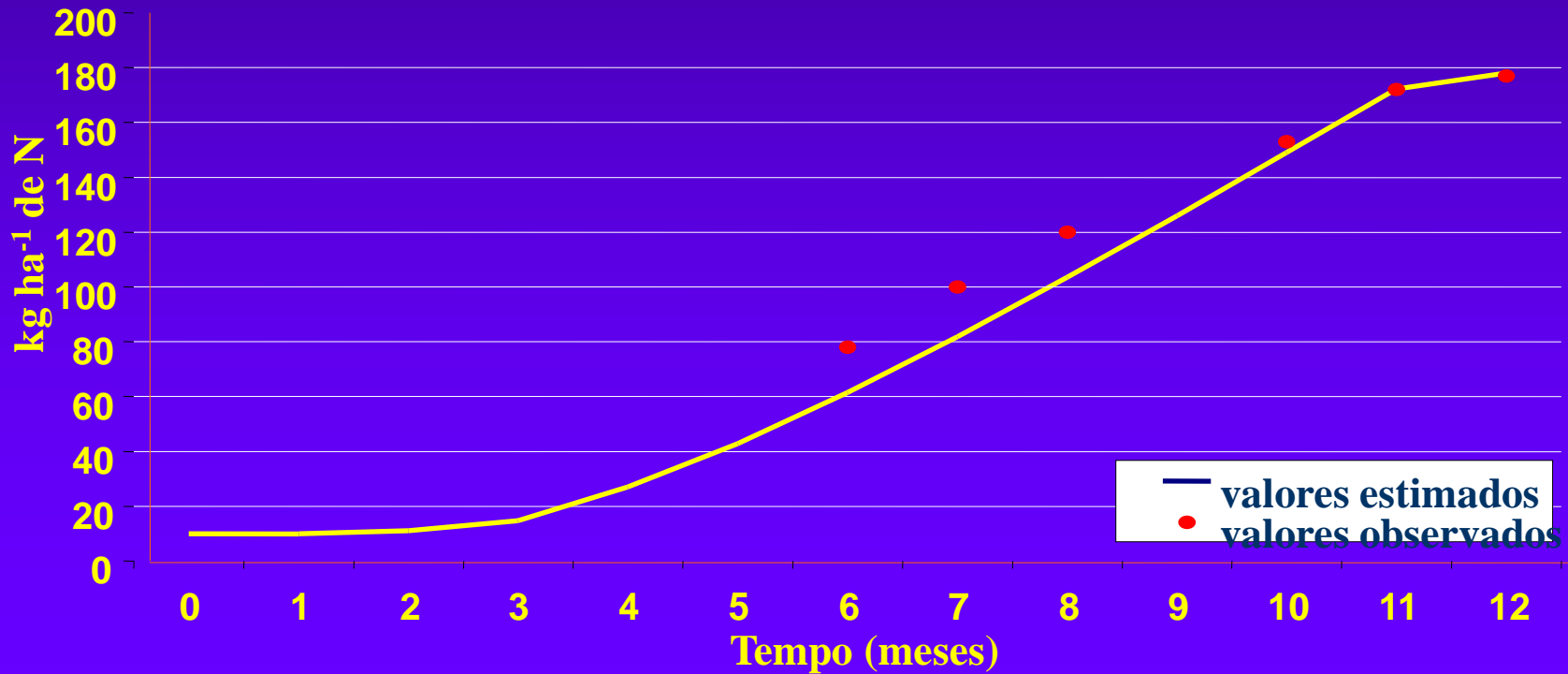
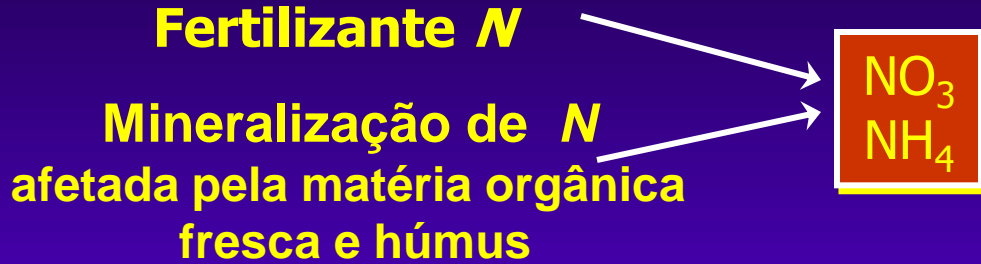
SIMULAÇÃO DE NITROGÊNIO:

TCH & IAF



Perdas por volatilizaçã

N disponível



COMPARTIMENTO SOLO

Entradas (“input”)

- Fertilizantes
- Matéria orgânica
- Fixação biológica (N₂)

Saídas (“output”)

- Remoção das plantas
- Lixiviação: NO₃⁻² e K⁺
- Perdas gasosas
- Erosão (N, K)

FERTILIZANTES

- **Nitrogenados:** através do processo de Haber Boch a indústria de fertilizantes reduz o N_2 atmosférico a NH_3 , produto primário para a fabricação das várias fontes de fertilizantes.
- $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ (400°C , 300 atm).
- **Alto custo energético:** para obtenção de 1 kg de N, P_2O_5 e K_2O como fertilizantes, são necessários, respectivamente: 16.800, 3.040 e 2.100 kcal.

MATÉRIA ORGÂNICA

- **N-orgânico do solo é a principal fonte de N para as plantas.**
- **N-orgânico (95 a 99% do N-solo) <-----> N-mineral.**
- **Esta reação está ocorrendo constantemente no solo e seu equilíbrio dinâmico é governado por muitas variáveis.**
- **Teores relativos de C, N, S, P, celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, materiais hidrossolúveis, materiais éter solúveis (lipídios), temperatura e umidade do solo**



FIXAÇÃO BIOLÓGICA

- Processo pelo qual o dinitrogênio é reduzido a íon amônio e assim fica disponível para as reações de aminação.
- A enzima que catalisa a FBN é chamada de nitrogenase e essa enzima utiliza grandes quantidades de ATP como fonte de energia para o processo de redução, portanto a FBN é um processo metabólico caro.
- Fixação biológica do nitrogênio, bactérias do gênero *Beijerinckia*, *Acetobacter diazotrophicus*.

REMOÇÃO PELAS PLANTAS

- **A principal perda de NPK no agroecossistema ocorre através da remoção pelas plantas:**

Tabela 1. Exigências de macronutrientes para a produção de 100 toneladas de cana-de-açúcar

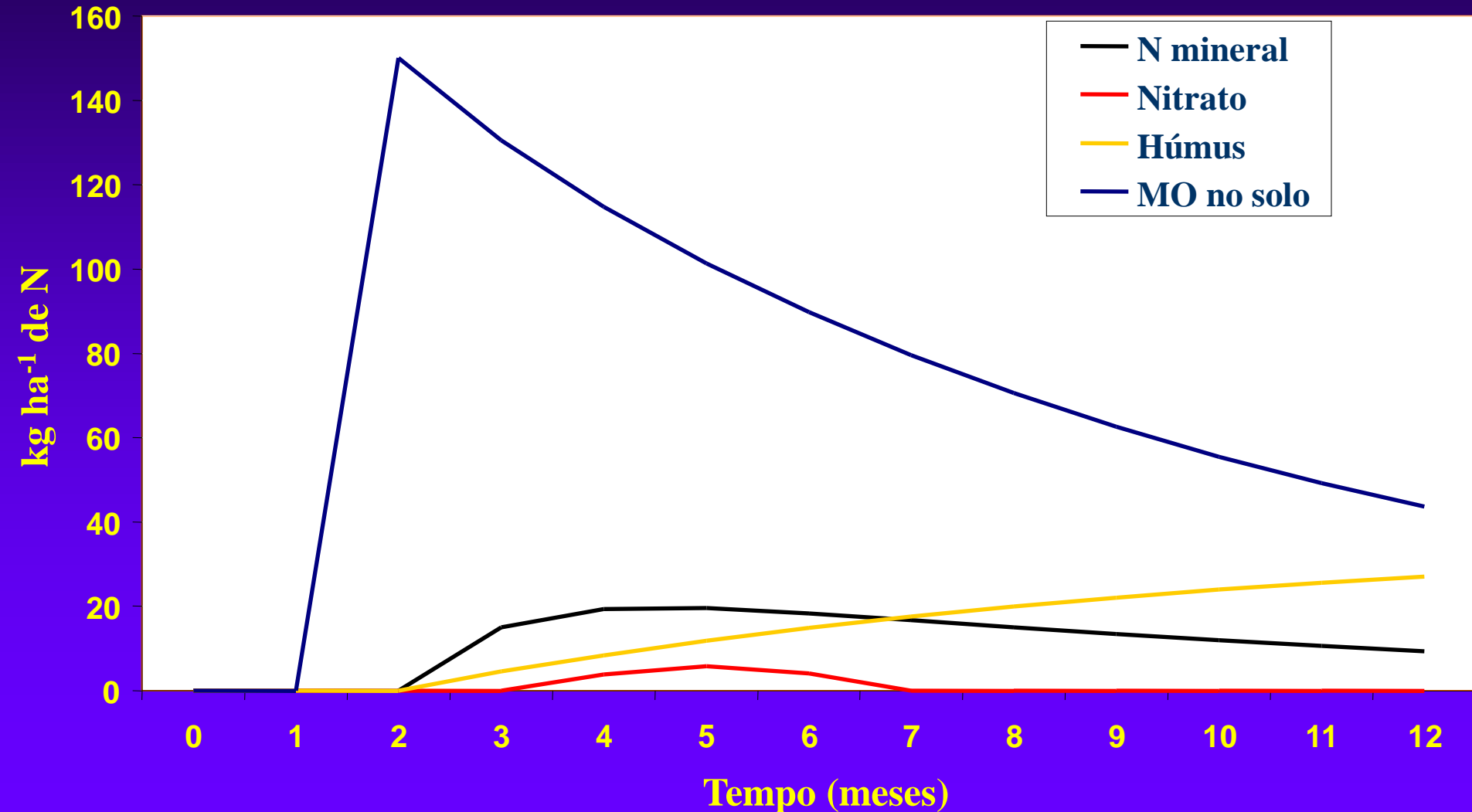
Partes da planta	N	P	K	Ca	Mg	S
	Kg					
COLMOS	83	11	78	47	33	26
FOLHAS	60	8	96	40	16	18
COLMOS + FOLHAS	143	19	174	87	49	44

Fonte: Orlando Filho *et al*, 1980

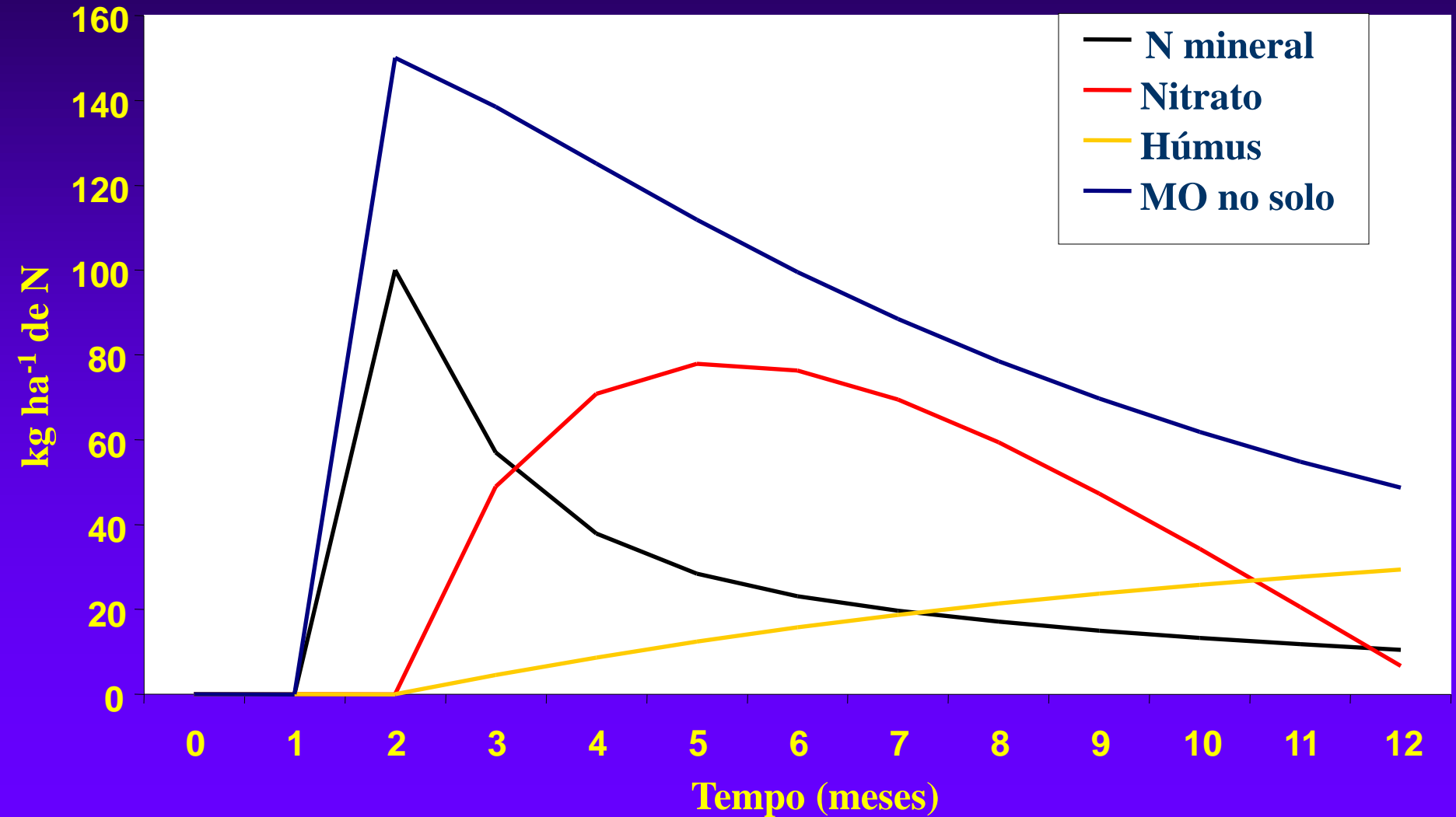
- **O acúmulo total de nutrientes: N-total (60-300 kg/ha) .**
- **Solos sob cultivo frequentemente mostram declínio constante no conteúdo de N, devido a queimada.**
- **Exportação de N, K, S e P, : soqueira > cana-planta**

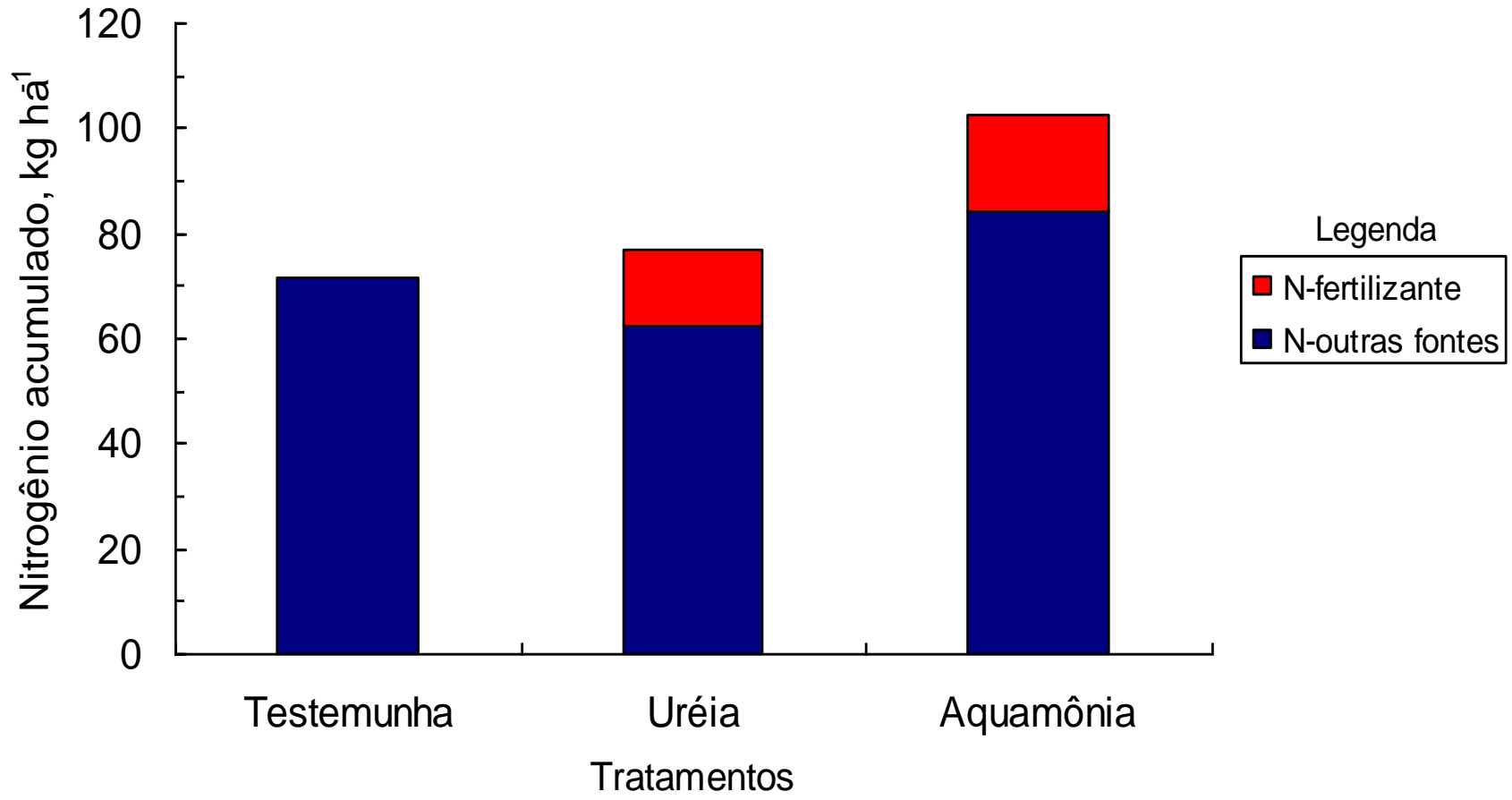
Parâmetros	N aplicado ao solo		
	0 kg ha ⁻¹	50 kg ha ⁻¹	100 kg ha ⁻¹
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Parâmetros de entrada de N:			
1. Palhada	50,00	50,00	50,00
2. MO do solo	100,00	100,00	100,00
3. Fertilizante	0	50,00	100,00
4. Atmosfera	37,28	37,28	37,28
5. Reserva da cana	10,00	10,00	10,00
Total de entrada	197,28	247,28	297,28
Parâmetros de perda de N:			
1. N Desnitrificado	0,09	2,06	4,82
2. Perda de amônia	0	0	0
3. Perda de nitrato	0,5%	5,2%	10,1%
Total perdido			
Parâmetro de N no solo:			
1. Humus	27,08	28,19	29,31
2. MO	43,67	46,17	48,67
3. Nitrato	0	0	6,59
4. N mineral	9,35	9,90	10,44
Total de N no solo	80,10	84,26	95,01
Parâmetro de N na planta:			
1. N na cana-de-açúcar	116,61	150,20	172,21
Total de N no sistema	197,28	247,28	297,28

Distribuição do N no solo - 0 kg ha⁻¹ de N



Distribuição de N no solo - 100 kg de N por ha





Nitrogênio na cana-soca (parte aérea e sistema radicular) derivado de aquamônia e uréia ou de outras fontes (adaptada de Trivelin et al., 1988a).

Fertilizante nitrogenado

Parâmetros

Uréia

Uran

NA e SA

----- kg ha⁻¹ -----

Parâmetros de entrada de N:

1. Palhada	50,00	50,00	50,00
2. MO do solo	100,00	100,00	100,00
3. Fertilizante	100,00	100,00	100,00
4. Atmosfera	37,28	37,28	37,28
5. Reserva da cana	10,00	10,00	10,00
Total de entrada	297,28	297,28	297,28

Parâmetros de perda de N:

1. N Desnitrificado	1,95	3,07	3,94
2. Perda de amônia	82,44	48,34	22,8
3. Perda de nitrato			
Total perdido	32%	23%	16%

Parâmetro de N no solo:

1. Humus	27,99	28,56	28,97
2. MO	43,21	45,39	47,10
3. Nitrato	0	0	0
4. N mineral	4,76	6,85	8,66
Total de N no solo	75,96	80,80	84,73

Parâmetro de N na planta:

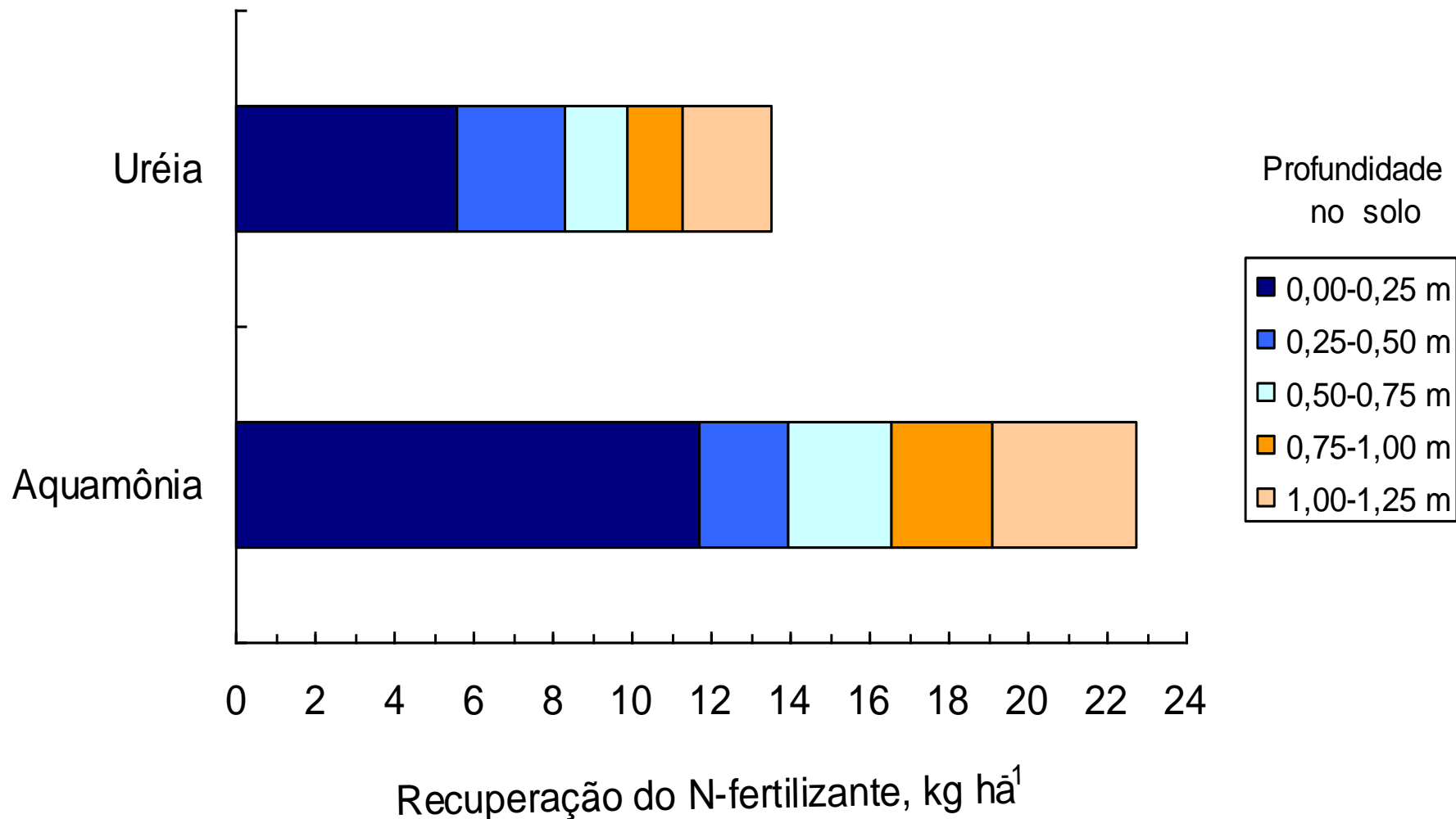
1. N na cana-de-açúcar	126,72	149,00	165,17
------------------------	---------------	---------------	---------------

Total de N no sistema

297,28	297,28	297,28
--------	--------	--------

LIXIVIAÇÃO

- **Outro modo pelo qual o nitrogênio é removido do compartimento solo, na forma de nitratos e nitritos, são ânions particularmente suscetíveis de serem lavados da zona radicular pela água percolada através do solo.**
- **O potássio movimenta-se na forma K^+ , que depende do teor de água e da CTC do solo, e das relações do elemento com os teores de Ca e de Mg.**
- **O fósforo mineral é governado pelo processo de difusão e a lixiviação é desprezível, mas em sistemas orgânicos há movimento vertical de P-orgânico.**

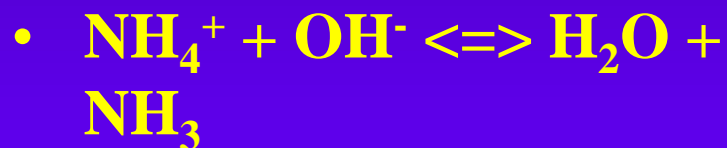


Recuperação, no solo, do nitrogênio da uréia e da aquamônia aplicada em cana-soca de final de safra (Camargo, 1989, Trivelin et al., 1988a).

PERDAS GASOSAS

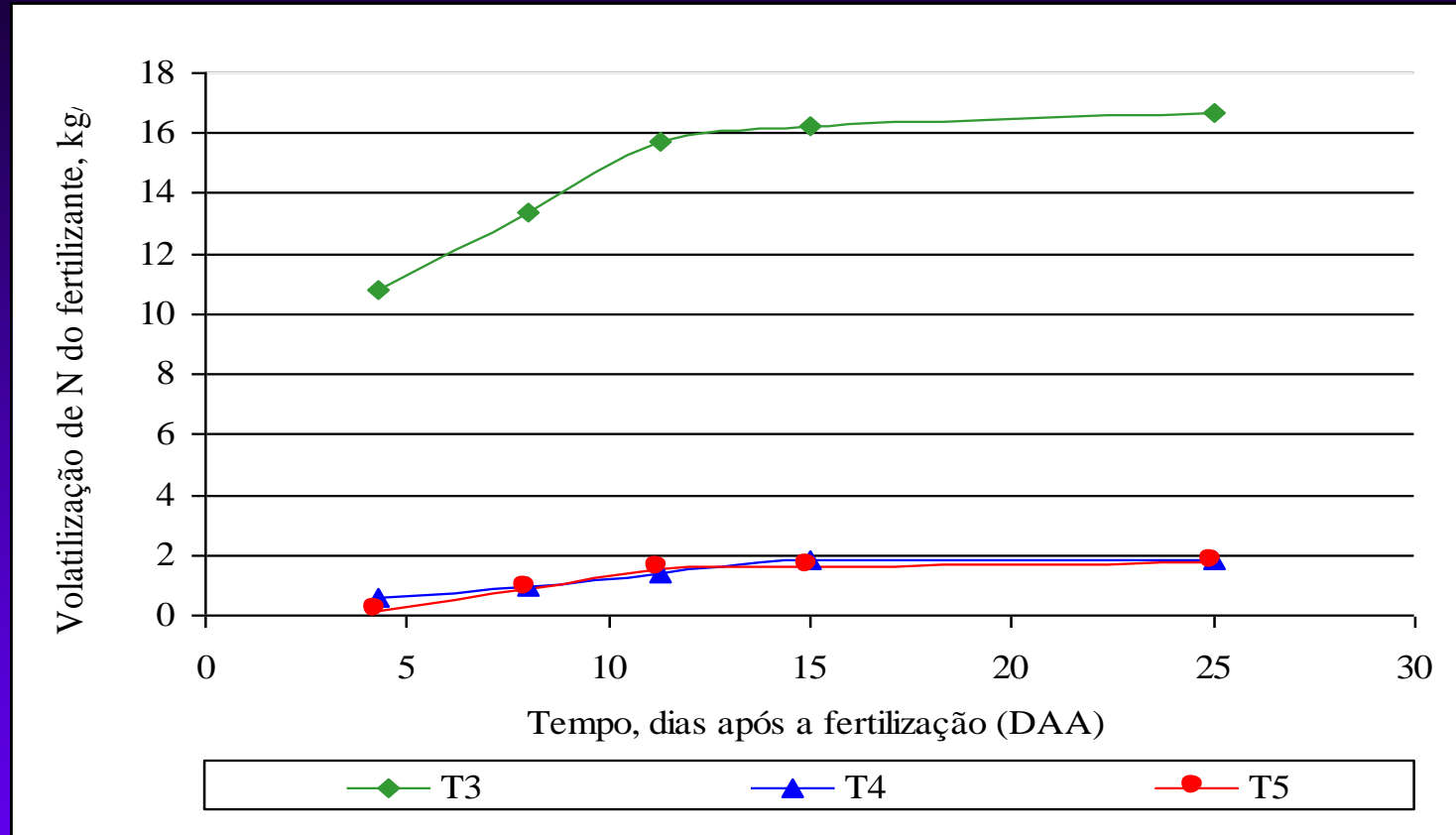
- **VOLATILIZAÇÃO**

- Perda de amônia para a atmosfera.



- **DESNITRIFICAÇÃO**

- Sob condições anaeróbicas.
- Conversão do nitrato em nitrogênio gasoso, realizado por algumas bactérias.
- Processo universal nos solos.



Volatilização acumulada de N-NH₃ do fertilizante (kg ha⁻¹):

T3 corresponde à mistura de vinhaça e uréia aplicada sobre a palhada de cana-de-açúcar, T4 mistura de vinhaça e uréia aplicada sobre o solo sem palhada, T5 uréia enterrada no sulco com prévia aplicação de vinhaça.
(Adaptada de Gava et al., 2000)

COMPARTIMENTO PLANTA

• Entradas (“input”)

- Absorção dos íons nitrato, amônio, amônia, K^+ e $H_2PO_4^-$.
- Redução dos íons nitrato para íons amônio, transferência para compostos que contêm carbono (aminação).
- P é móvel nas plantas na forma orgânica e o excesso fica como polifosfato.

• Saídas (“output”)

- Perdas gasosas na planta devidas à proteólise e à desaminação de compostos orgânicos.

Elemento	Planta	Soca
	8-14 meses	4-8 meses
Velocidade (kg/ha/dia)		
N	0,59	0,73
P	0,08	0,11
K	0,71	0,95

DEFICIÊNCIA EM K



Foto 6. Folha com deficiência de potássio, à esquerda (Original: J. Orlando Filho).



Foto 7. Deficiência de potássio: redução no crescimento e topo em forma de leque (Original: D.L. Anderson).

- Bordas e pontas de folhas velhas com clorose amarelo-alaranjado com pontos de necrose, até a sua uni-lá.

- Decréscimo no translocação de açúcar;

- vulnerabilidade a doença - Mancha Ocular



ABSORÇÃO E REDUÇÃO



- **Planta absorve íons nitrato, amônio, amônia, fosfatos e K-trocável.**
- **Íons nitrato são reduzidos a íons amônio pelo complexo enzimático nitrato redutase e nitrito redutase.**
- **Os íons amônio são transferidos para compostos que contêm carbono produzindo aminoácidos e outros compostos orgânicos, os quais contêm nitrogênio.**
- **A incorporação de nitrogênio e fósforo em compostos orgânicos acontece de modo intenso em células jovens em crescimento.**



PERDAS GASOSAS

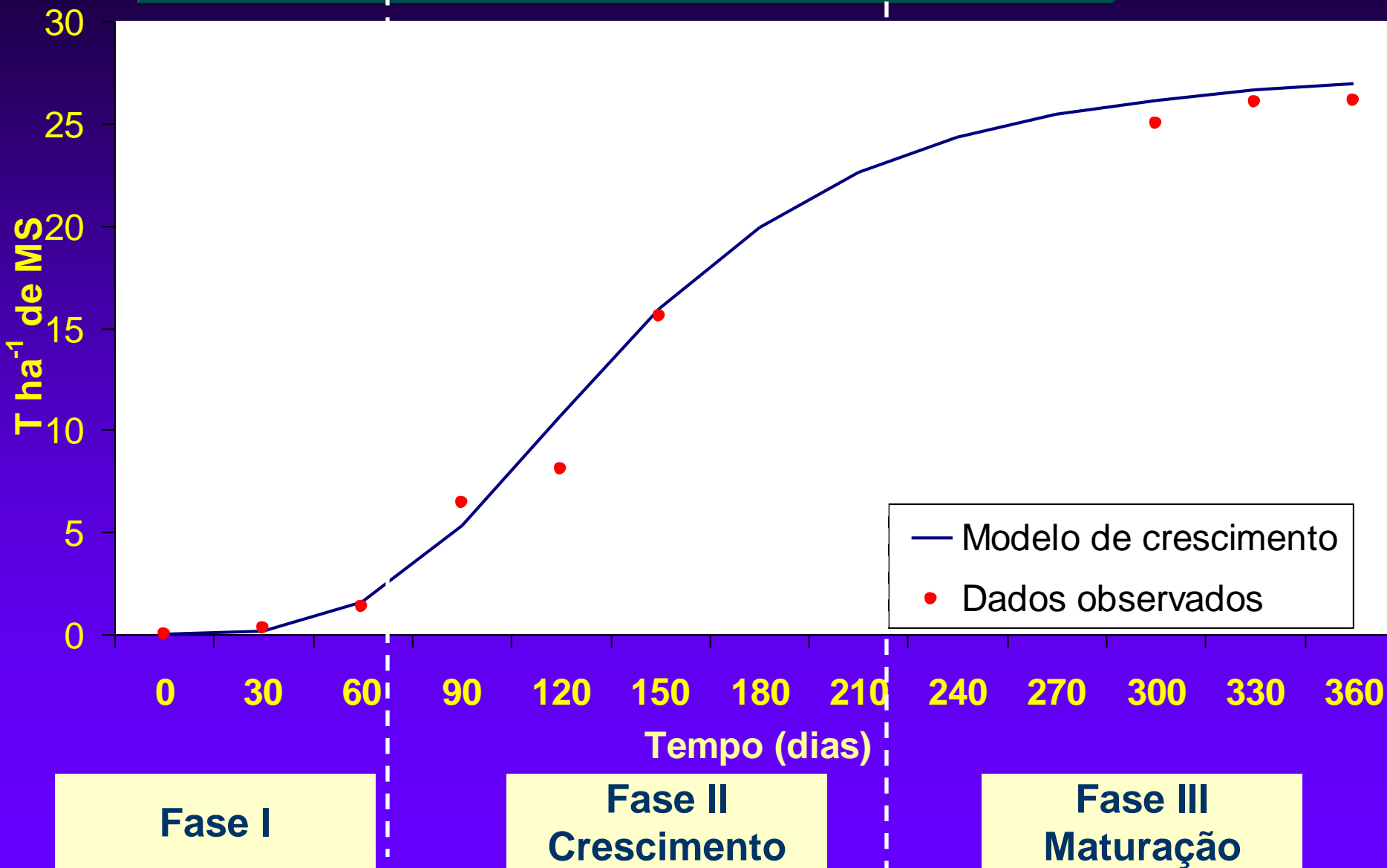
- **Reações metabólicas que produzem amônia na planta.**
- **Metabolismo de fotorespiração.**
- **A redução no conteúdo do N-fertilizante e no N-total, na parte aérea da cana-de-açúcar, na maturidade, foi constatada por Ng Kee Kwong & Deville (1994a,b), que a atribuíram à volatilização de N através da folhagem.**



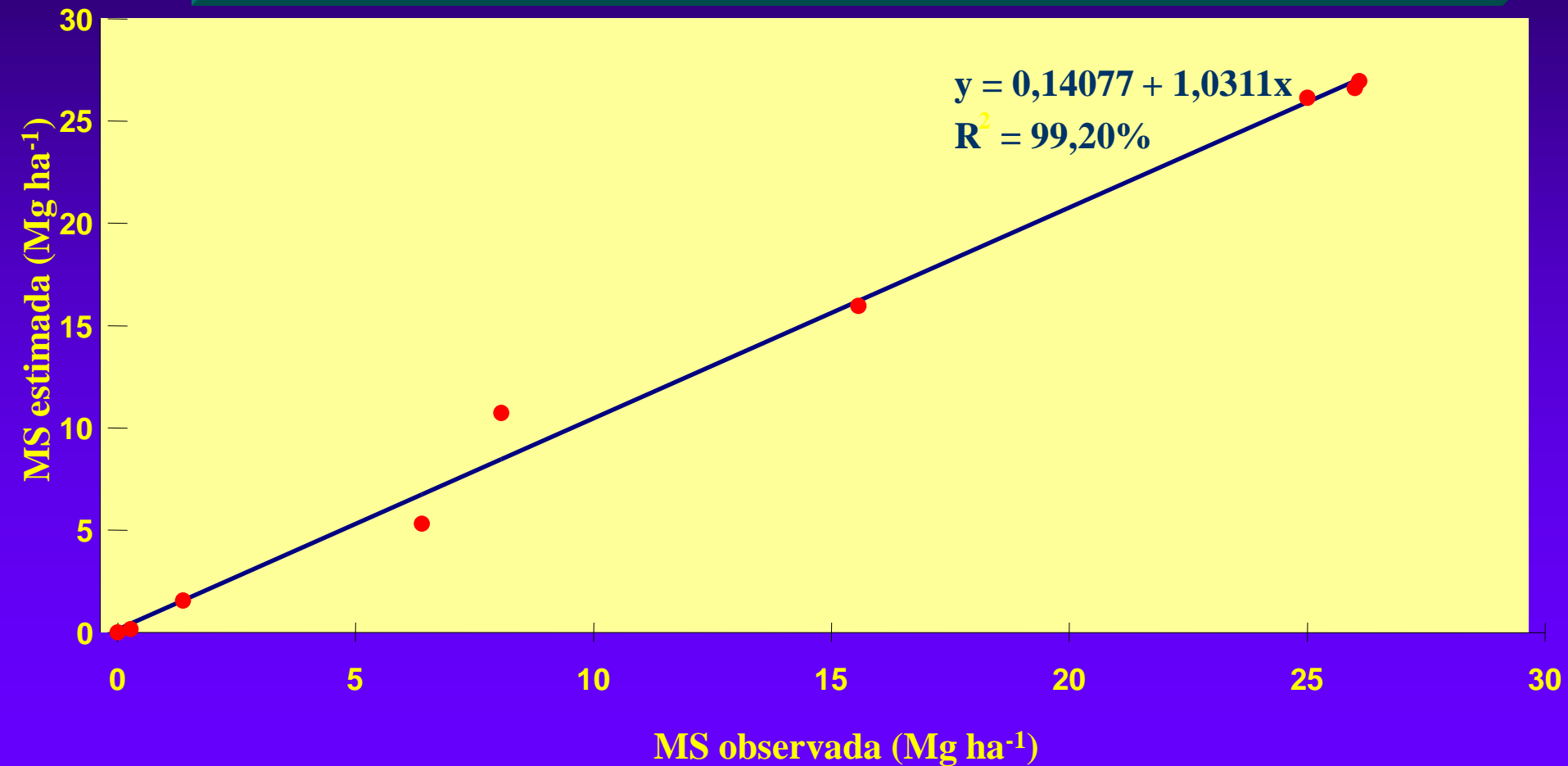
Validação do modelo



Experimento na Usina Costa Pinto Piracicaba-SP

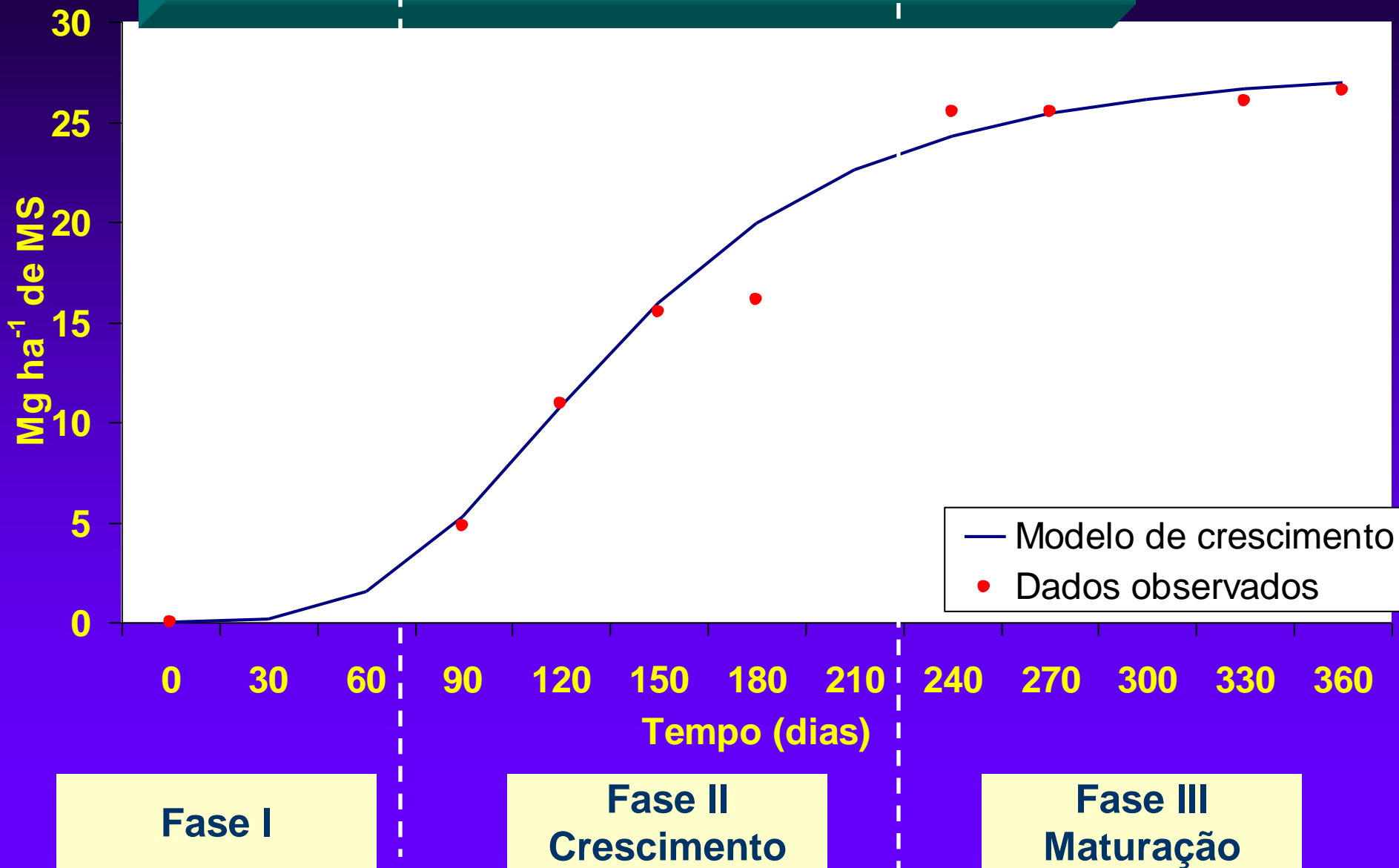


Análise de Regressão Linear: Experimento na Usina Costa Pinto - Piracicaba-SP



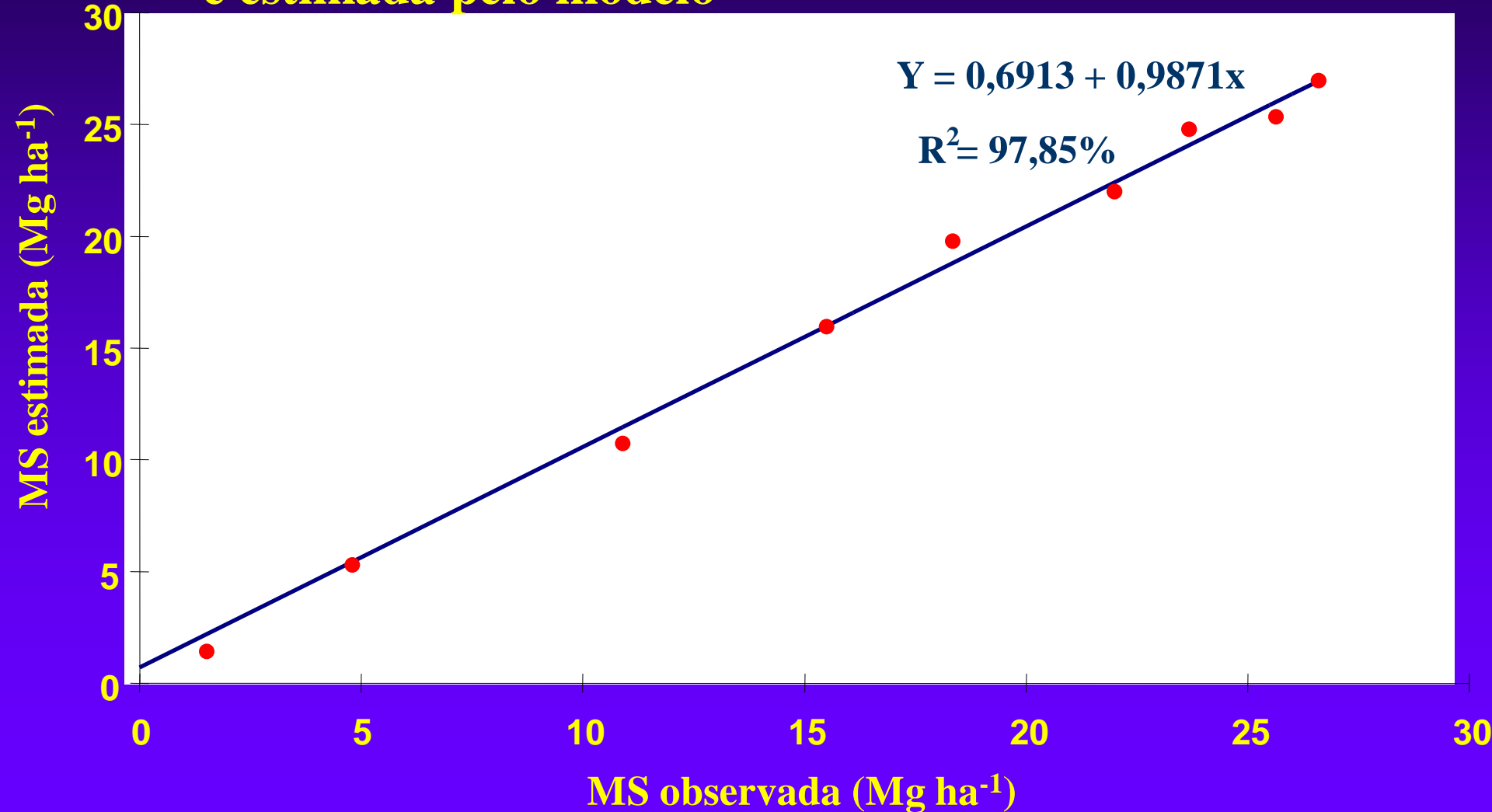


Experimento de GAVA et al., 2001 Usina Iracema S/A - Iracemápolis-SP

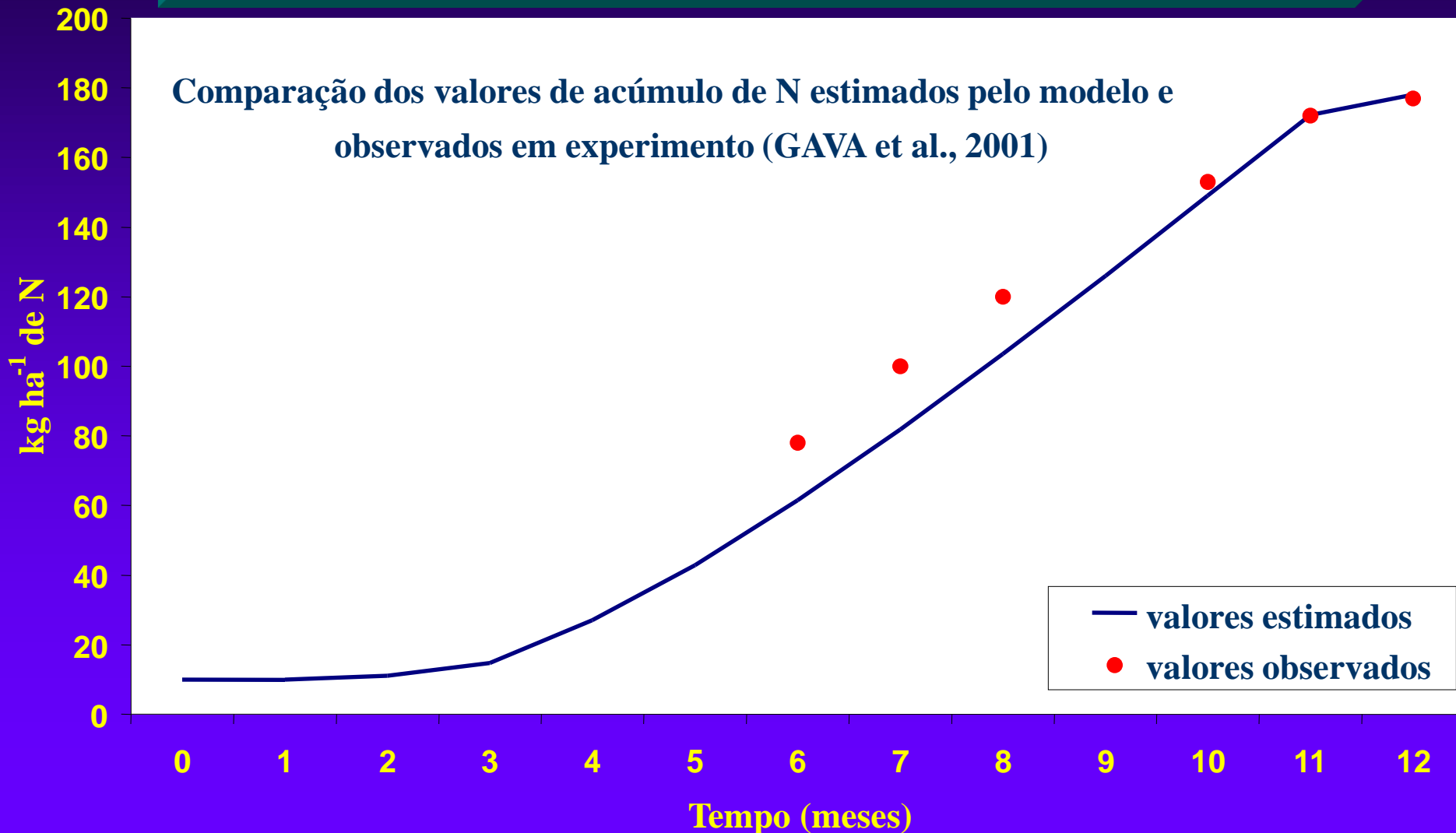


Análise de Regressão Linear: Usina Iracema S/A - Iracemápolis-SP

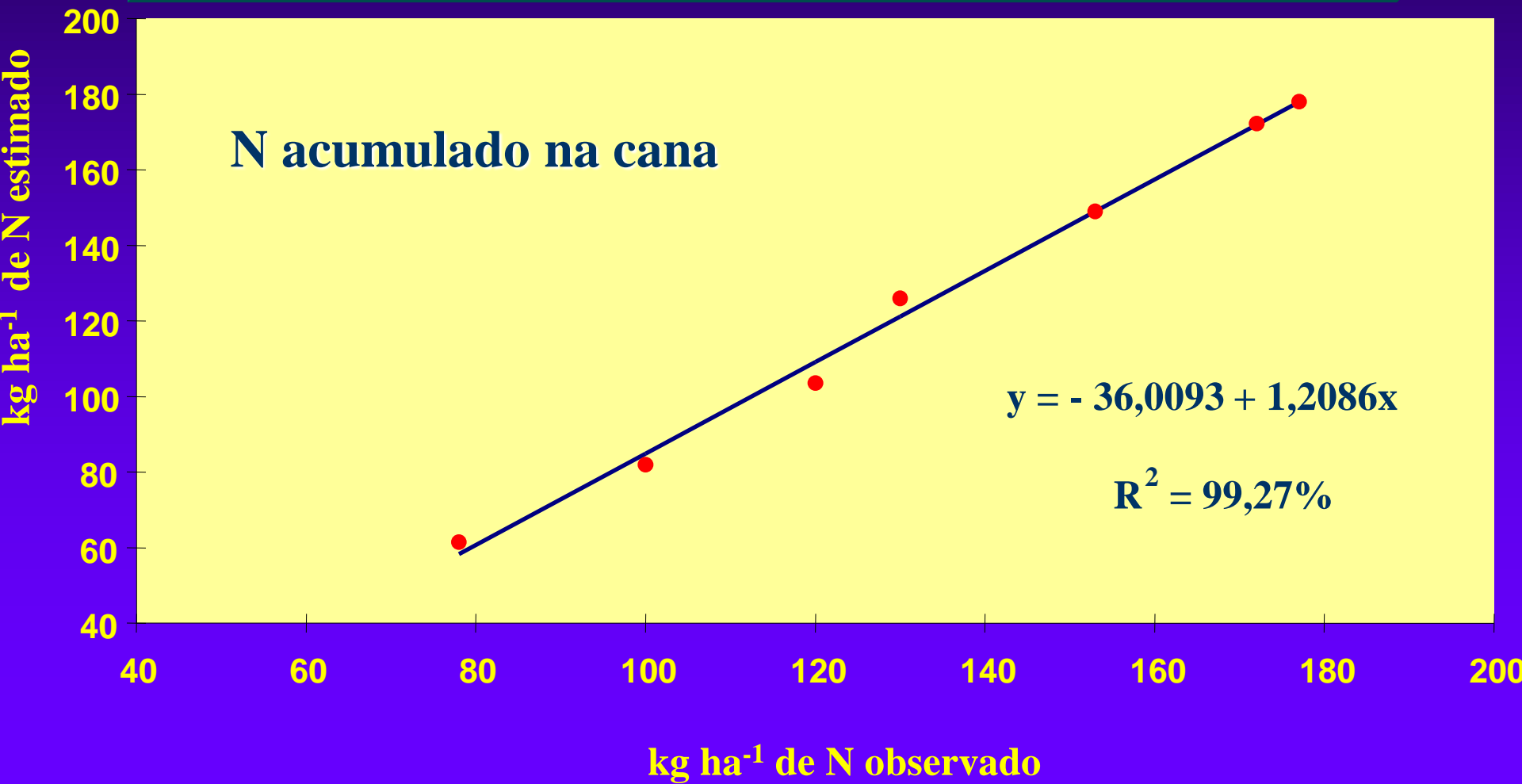
Comparação entre biomassa observada (Iracemápolis/SP) e estimada pelo modelo



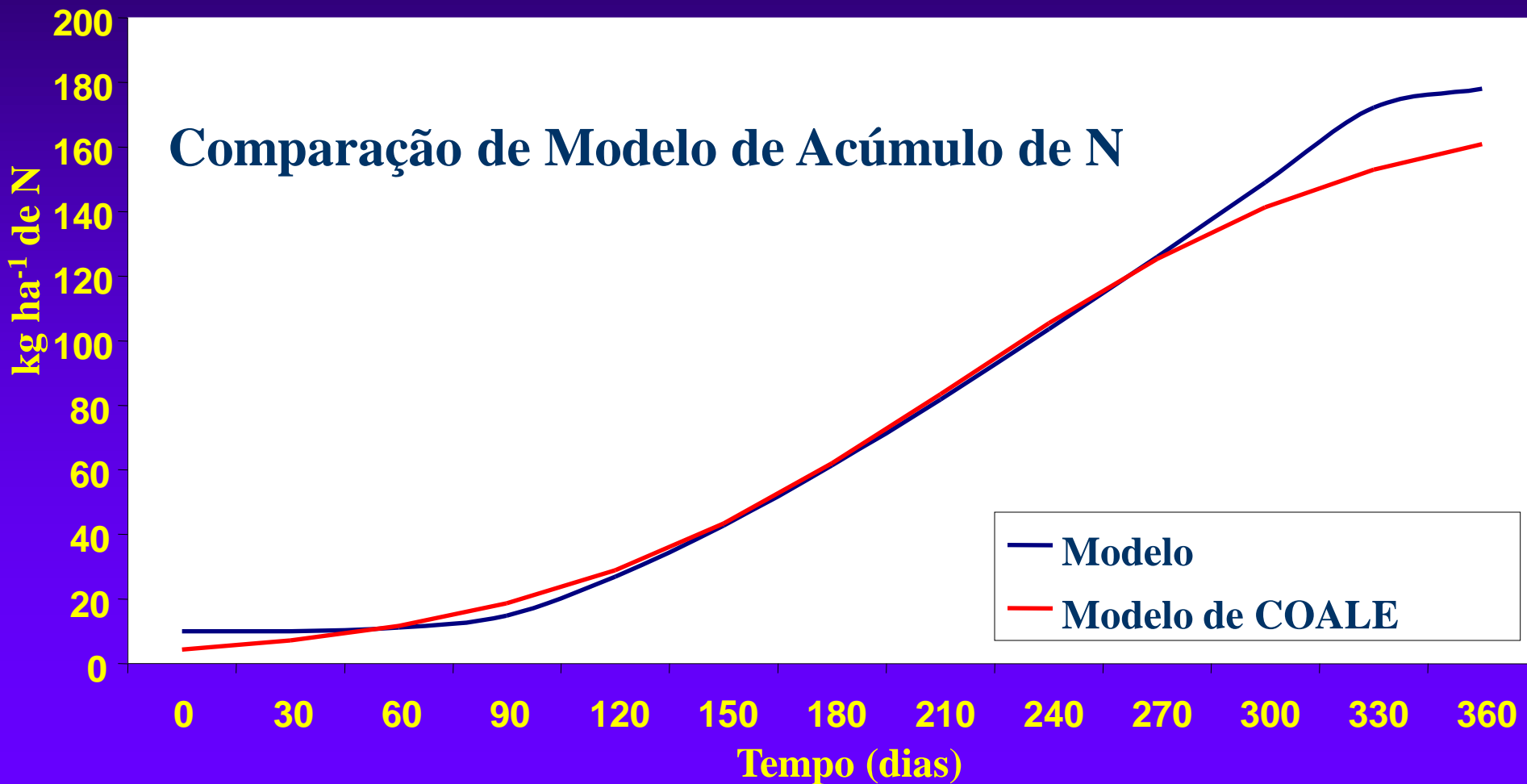
Experimento de GAVA et al., 2001 Usina Iracema S/A - Iracemápolis-SP



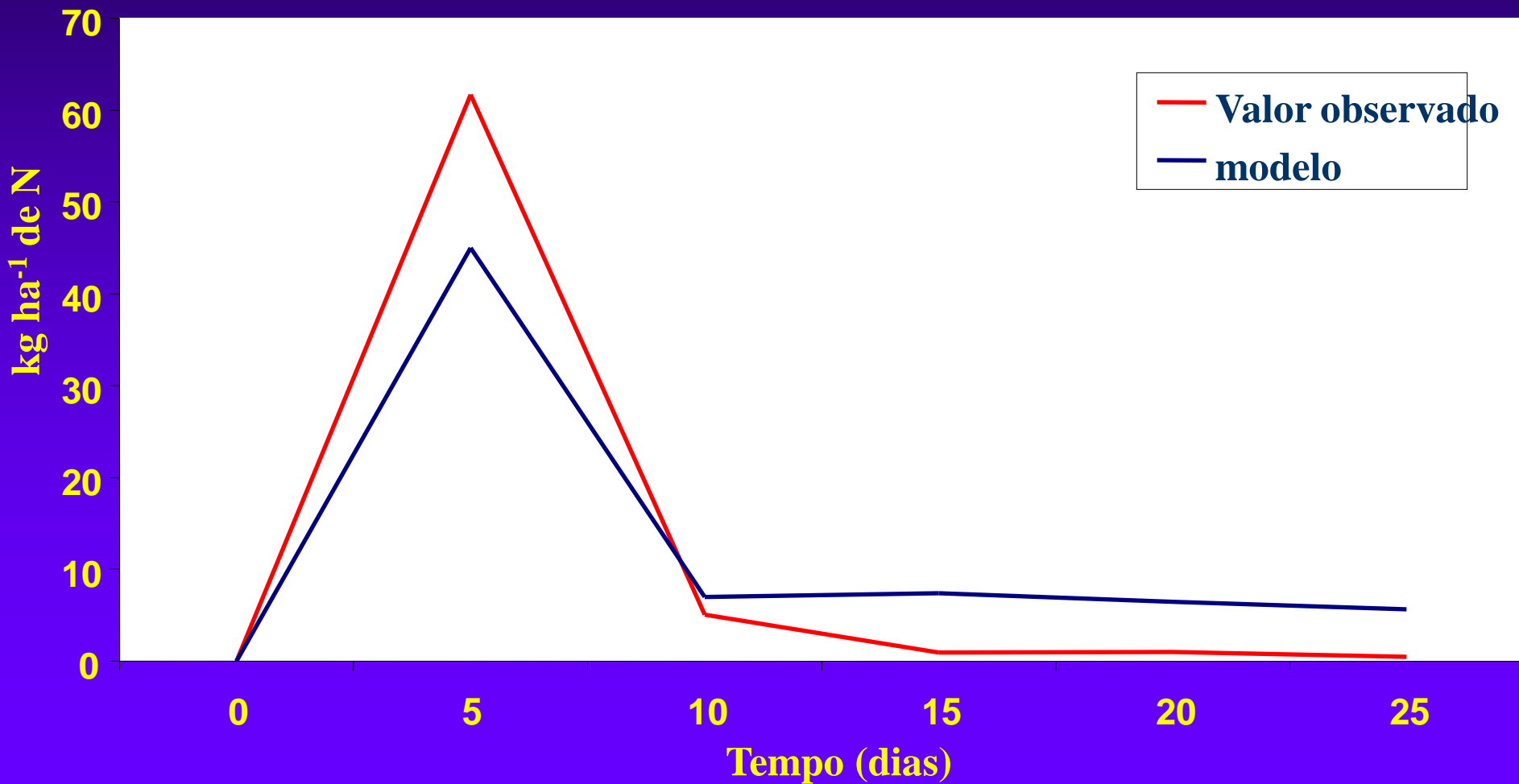
Análise de Regressão Linear: Usina Iracema S/A - Iracemápolis-SP



Experimento de COALE et al., 1993



Volatilização da amônia Experimento de TRIVELIN, 2000



BALANÇO DE NITROGÊNIO

Destino do N-fertilizante	Recuperação do nitrogênio ¹	
	Uréia	Aquamônia
	kg ha ⁻¹	
A. Acumulado na cultura	14,4 ± 1,4	18,4 ± 1,4
B. Residual no solo	13,5 ± 1,7	22,8 ± 1,8
C. Solo-planta	27,9 ± 2,1 ²	41,2 ± 2,3
D. Perdas ³	72,1	58,8
E. Lixiviação (Camargo, 1989)	28,2	7,5
F. Outras perdas ⁴	43,9	51,3

- Balanço do N da aquamônia e da uréia (100 kg ha⁻¹) no sistema solo-planta após 11 meses da adubação, em cana-soca de final de safra. (Adaptada de Camargo, 1989, Trivelin et al., 1988a)



ADUBAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR



Instituição	Plantio	Cobertura	Soqueira	Autor
_____ kg N/ha _____				
PLANALSUCAR	20	40	60	Orlando Fo et al, 1984
IAC	20	40- 80	100	Raij et al, 1985
COPERSUCAR	20	*	100	Penatti et al, 1987

* A critério da unidade. Recomendação da adubação nitrogenada em cana-de- açúcar, no Estado de SP



ADUBAÇÃO NITROGENADA NA SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR



TRATAMENTO

Kg N/ha

Ganhos de produtividade de colmos em soqueiras, em %, em doses de uréia, em diferentes épocas de corte

	Início de safra*	Meio de safra**	Final de safra***	Média
	%			
0	0	0	0	0
40	2	-3	14	4,3
80	13	5	21	13,0
40+80	3	-4	9	2,6
120	7	0	14	7,0
160	9	0	15	8,0
200	9	0	17	8,6

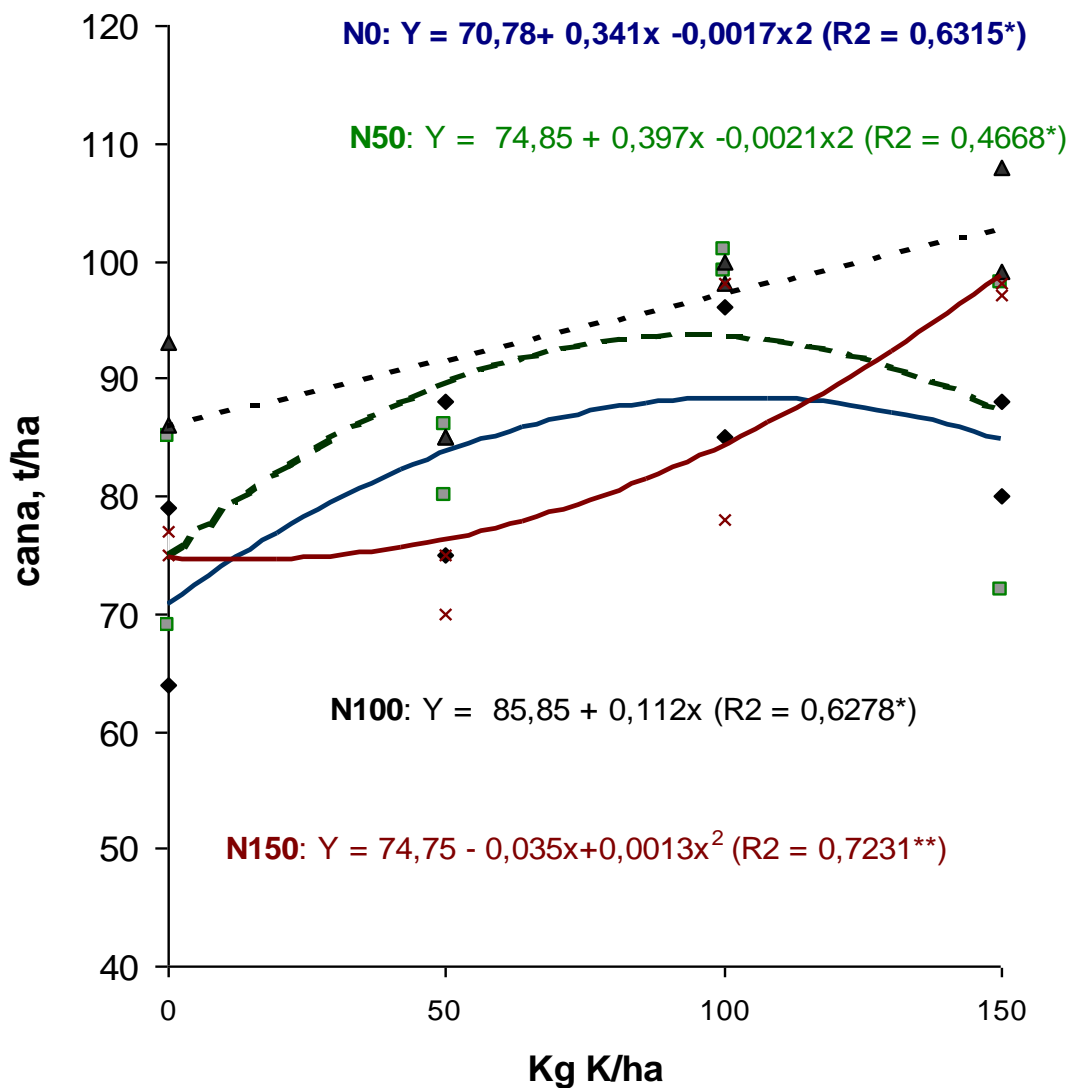
⇒ Resposta : 20% na Cana-de-açúcar-planta e 70% nas soqueiras

ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA CANA-PLANTA E SOQUEIRA

Cana-planta		Soqueira	
K no solo (meq/100ml)	kg K ₂ O /ha	P no solo (meq/100ml)	kg P ₂ O ₅ /ha
0-0,07	140	0 – 0,15	120
0,08-0,15	120	0,16 – 0,30	120
0,16-0,30	100	> 0,30	80
>0,30	80		



Influência da aplicação de potássio com níveis de N na produtividade de colmos

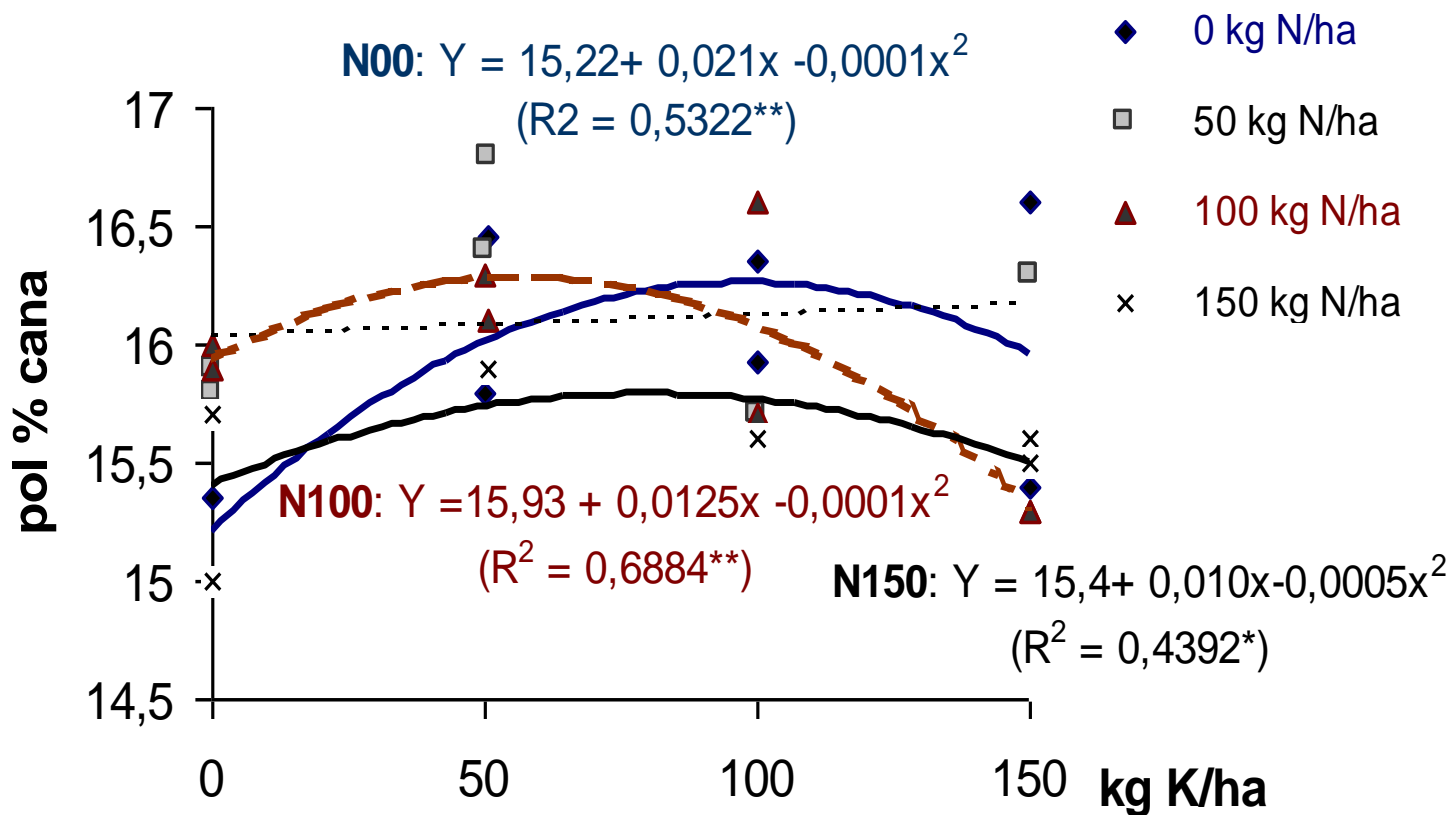




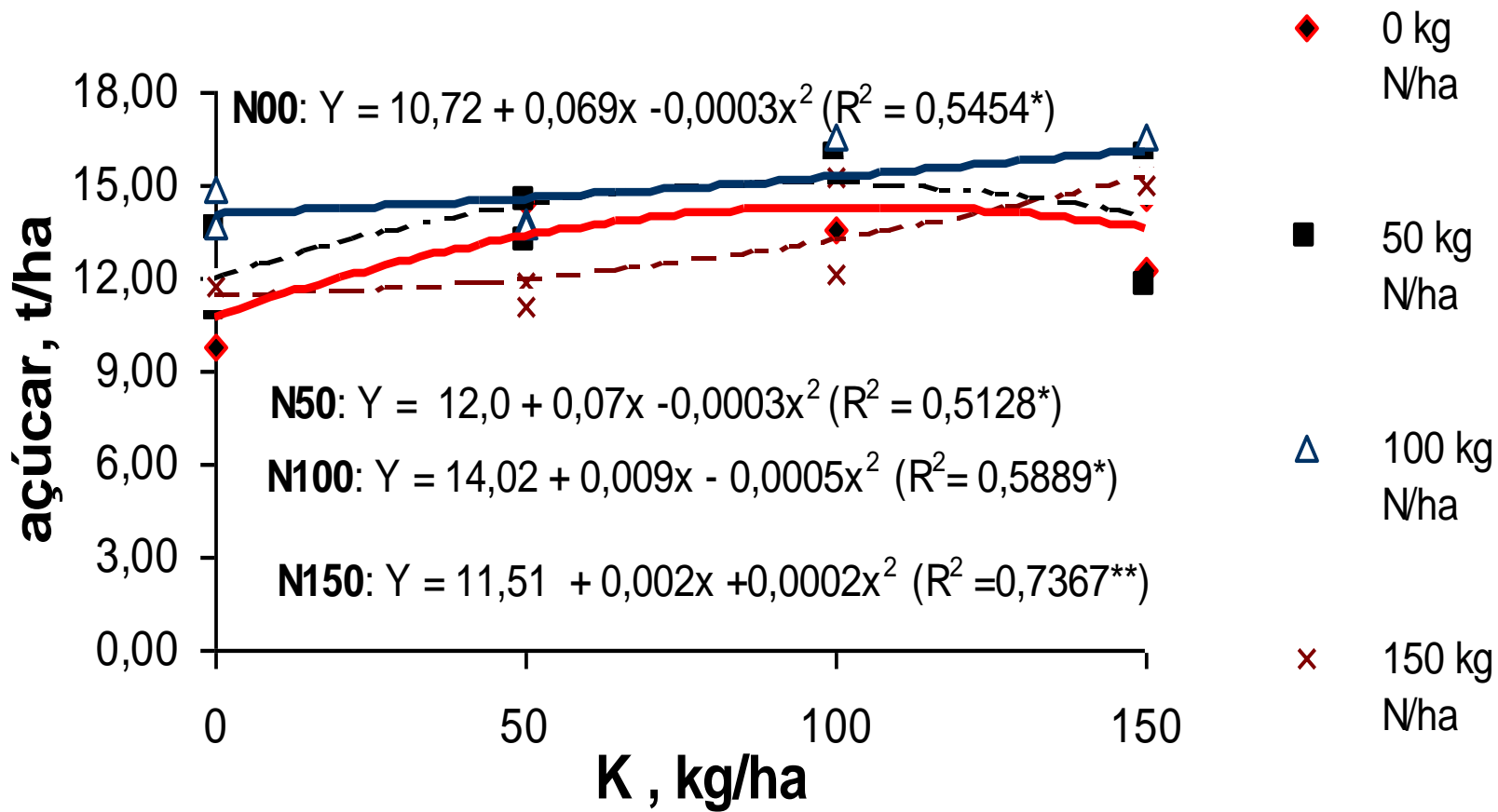
UNICAMP



Influência do potássio aplicado em diferentes níveis de nitrogênio na pol%cana



Influência da aplicação de potássio em diferentes níveis de nitrogênio na produção de açúcar por hectare





NÍVEIS ADEQUADOS DE NUTRIENTES NO TECIDO FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR



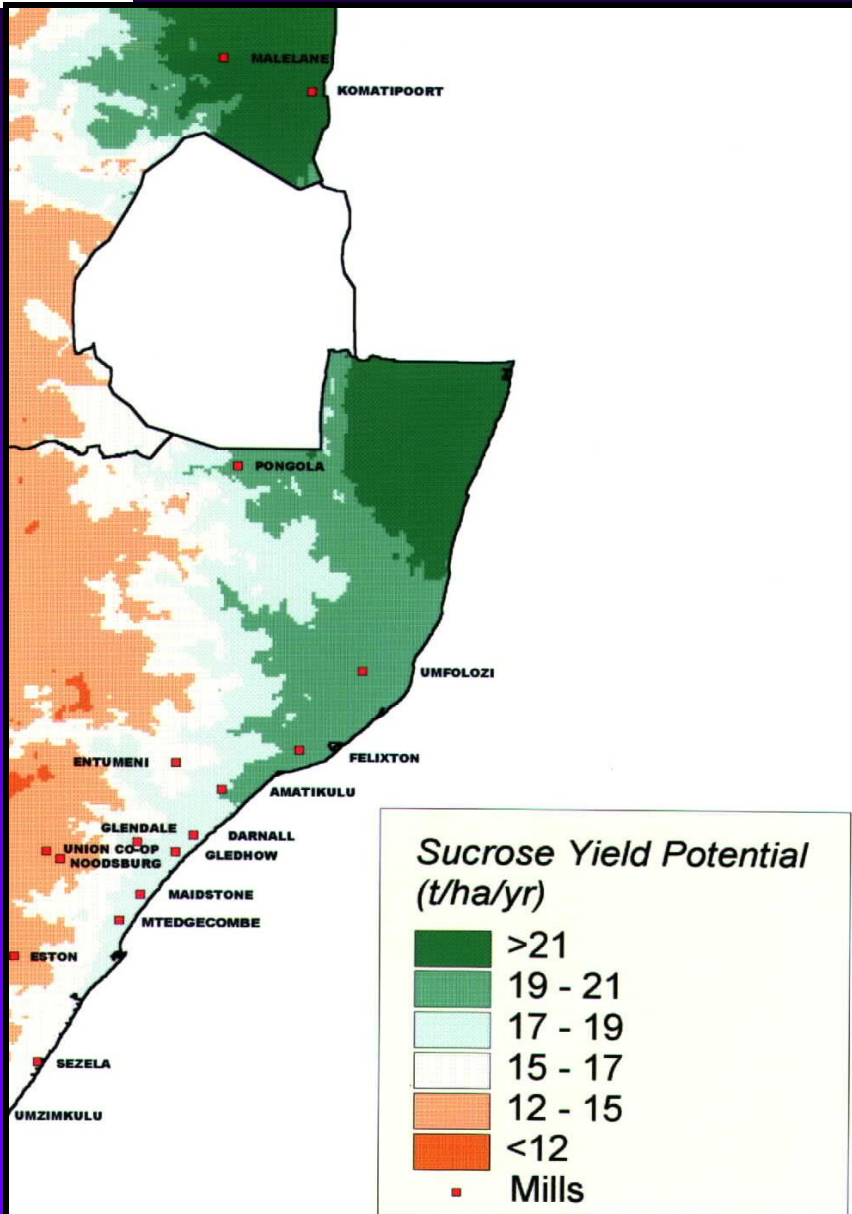
Nutrientes	Teor (ppm)		Tecido foliar utilizado	Idade do tecido (meses)	Correção kg/ha
	Crítico	Ótimo			
N	-	1,65-2,59	3	04-9	20-100
P	0,15	0,20-0,35	3	04-9	0-80
K	0,62	0,62-1,45	3	6	99
Al*					
B	1	6-29	3	4-16	3-4,5
Ca	-	0,45-0,75	3	4-9	-
Cl*					
Cu	-	9-17	3	4-9	6
S**	-	0,13-0,28	3	6	50
Fe	-	76-392	3	4-9	6-10
Mg	-	0,11-0,36	3	4-9	-
Mn	-	73-249	3	4-9	3-6
Mo*					

- Fonte: Anderson & Bowen (1992)



UNICAMP

CROP FORECASTING



National level:
Marketing, Export,
Government, Financial services

Regional level:
Mill scheduling, Transport

Farm and field level:
Harvest planning, cash flow,
labour, extension

**Inman-Bamber, N.G., 1995b,
Climate and water as constraints
to production in the South African
sugar industry., Proc S Afr Sug
Technol Ass 69: p55-59.**

Modelo de balanço de N

Simplificado e preliminar

Comportamentos condizentes com a realidade

Alternativa para pesquisadores, técnicos e produtores

Entendimento dos processos do N com K

Auxílio a soluções quanto ao melhor manejo de N-fertilizantes à cana-de-açúcar