



LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia

RENDIMENTO DE GRÃOS



Modelagem de rendimento

Representação simplificada da relação existente entre a cultura e o ambiente:
solo (características físicas e químicas);
manejo (cultivar, espaçamento, ...);
meteorológicas (hídricas, térmicas, ...)



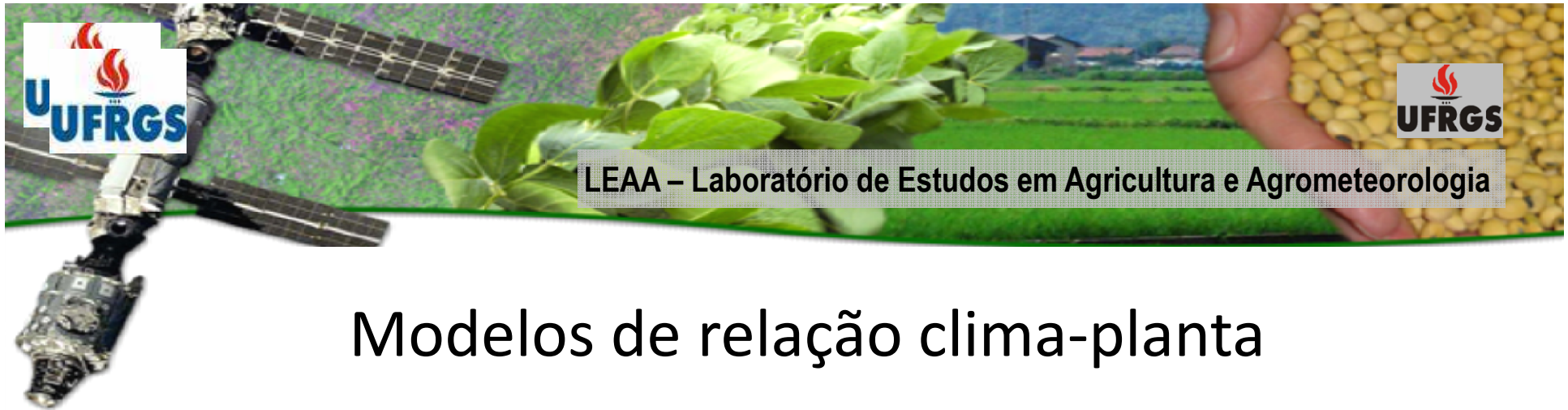
Modelagem do rendimento

Categorias:

Modelos estatísticos empíricos;

Modelos de simulação;

Modelos de relação clima-planta
(agrometeorológicos)



Modelos de relação clima-planta

Relações do crescimento e desenvolvimento da vegetação com variáveis que descrevam as condições meteorológicas durante o ciclo;

As funções consideram as diferenças de sensibilidade das culturas aos estresses ao longo do ciclo.

Para a maioria das culturas de primavera-verão, as variáveis meteorológicas são, especialmente, aquelas que caracterizam as condições hídricas no período do estabelecimento e no florescimento e enchimento de grãos.



Abordagem → agrometeorológica-espectral



Indicador da influência dos elementos meteorológicos sobre o rendimento.



Indicador da influência dos elementos meteorológicos e de outros elementos (manejo, pragas, doenças...) sobre o rendimento.

Exemplos históricos de aplicação no Rio Grande do Sul

- Liu e Kogan (2002)
- Melo (2003)
- Rizzi (2005)

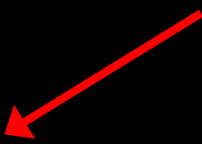
Liu e Kogan (2002)

RS, SC, PR - MT, MS, GO - MG, SP

Período: 13 anos (1985 a 1998) - NOAA AVHRR

Para o RS:

$$Y = 59,88 + 0,3539(V5)^2 + 0,00387(T7)^2$$


$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} * 100\%$$

Índice da condição da vegetação


$$TCI = \frac{(BT_{\max} - BT)}{(BT_{\max} - BT_{\min})} * 100\%$$

Índice da condição da temperatura

Rio Grande do Sul – $R^2 = 0,29$ (0,92MG – 0,35BR)

Melo (2001)

Modelagem agrometeorológica-espectral

$$Y = a_0 + a_1 TA + a_2 TE$$



Termo Agrometeorológico



Termo Espectral

Dados: 18 anos (1982 a 2000)
Região maior produtora de soja
Rendimentos IBGE

Termo Agrometeorológico

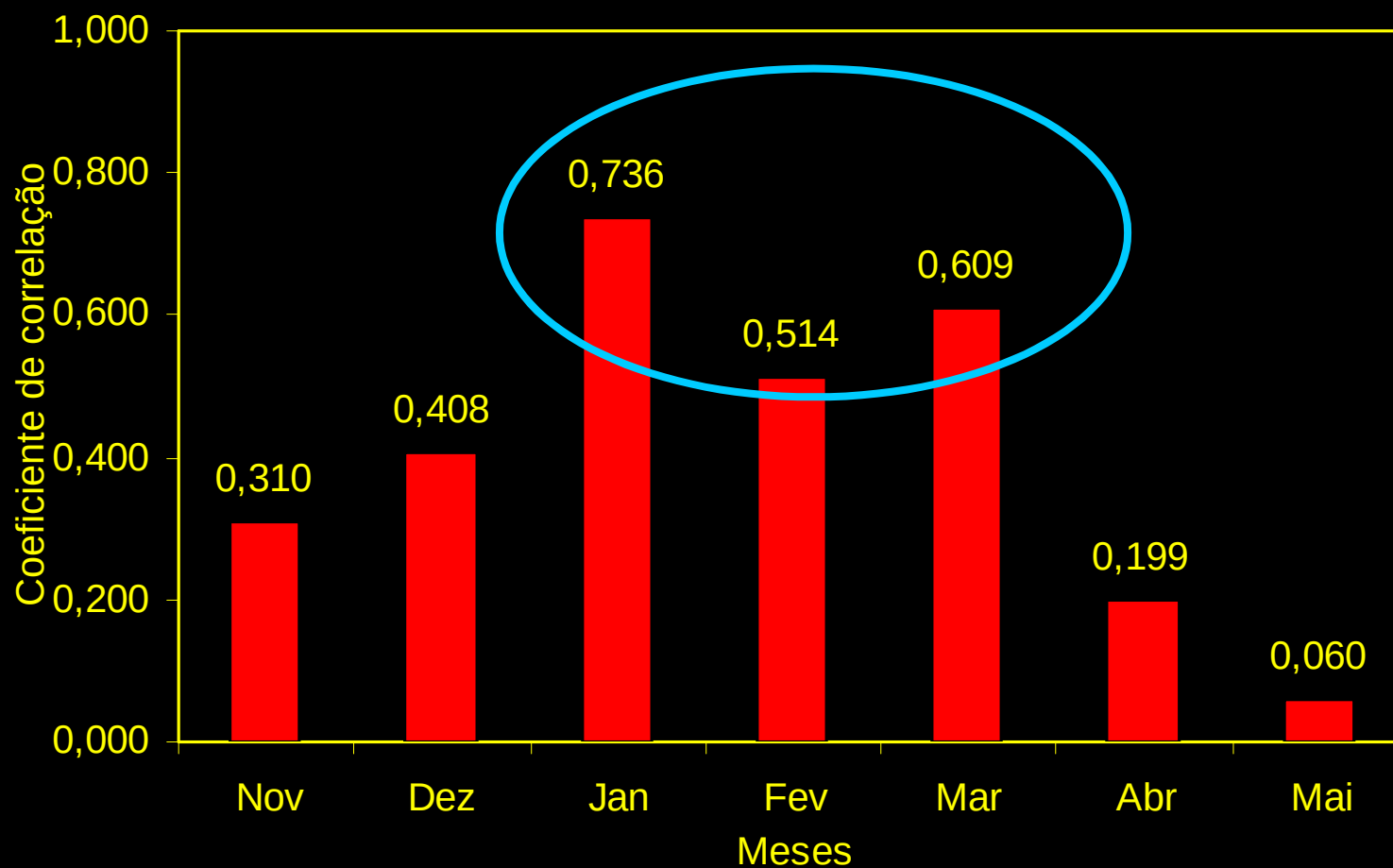
Modelo multiplicativo de Jensen (1968)
modificado por Berlato (1987)

$$TA = Y_m \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_r}{ET_o} \right)_i^{\lambda_i}$$

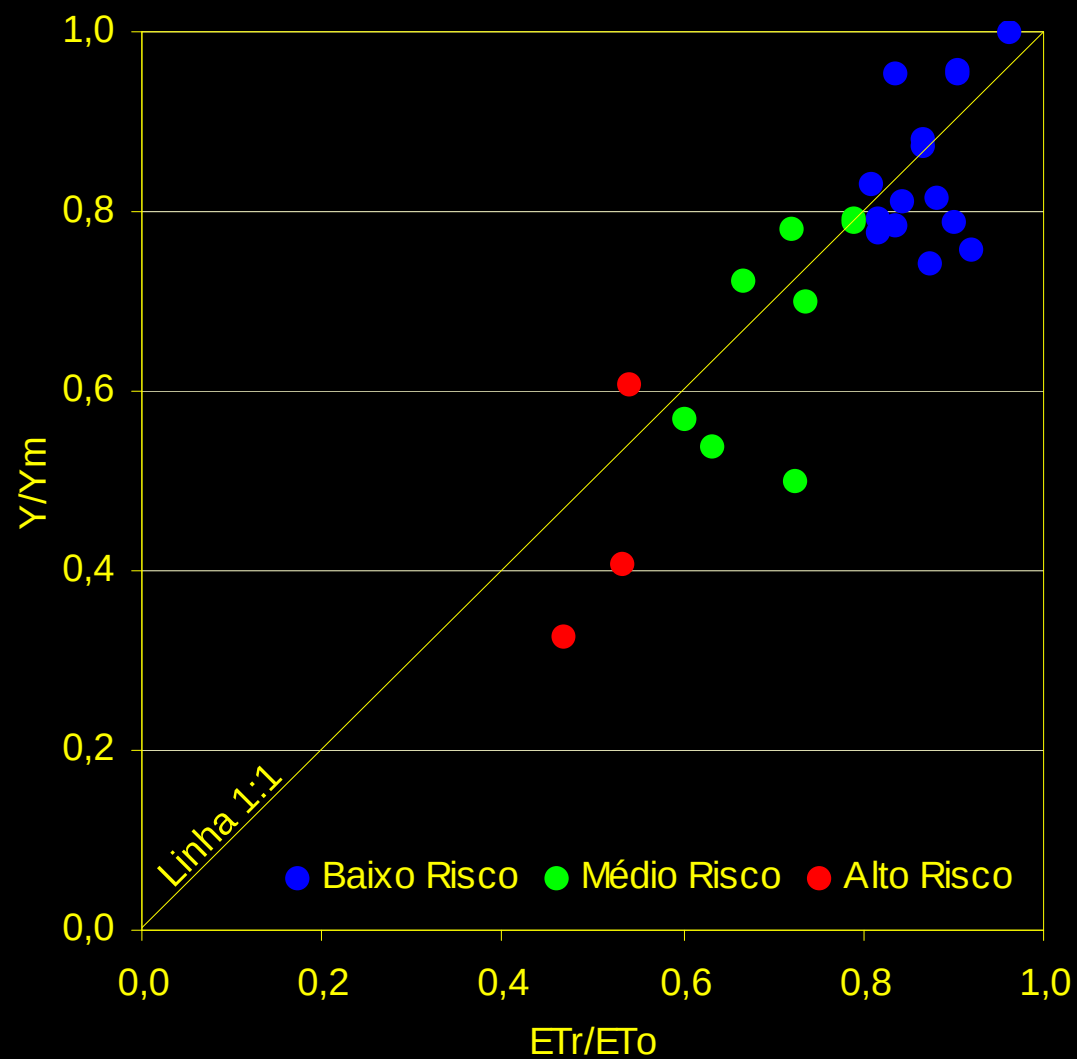
Diagram illustrating the components of the multiplicative model:

- Y_m : Rendimento máximo (Maximum yield)
- $\left(\frac{ET_r}{ET_o} \right)_i$: Evapotranspiração relativa (Relative evapotranspiration)
- λ_i : Sensibilidade relativa (Relative sensitivity)
- i : Período (Period)

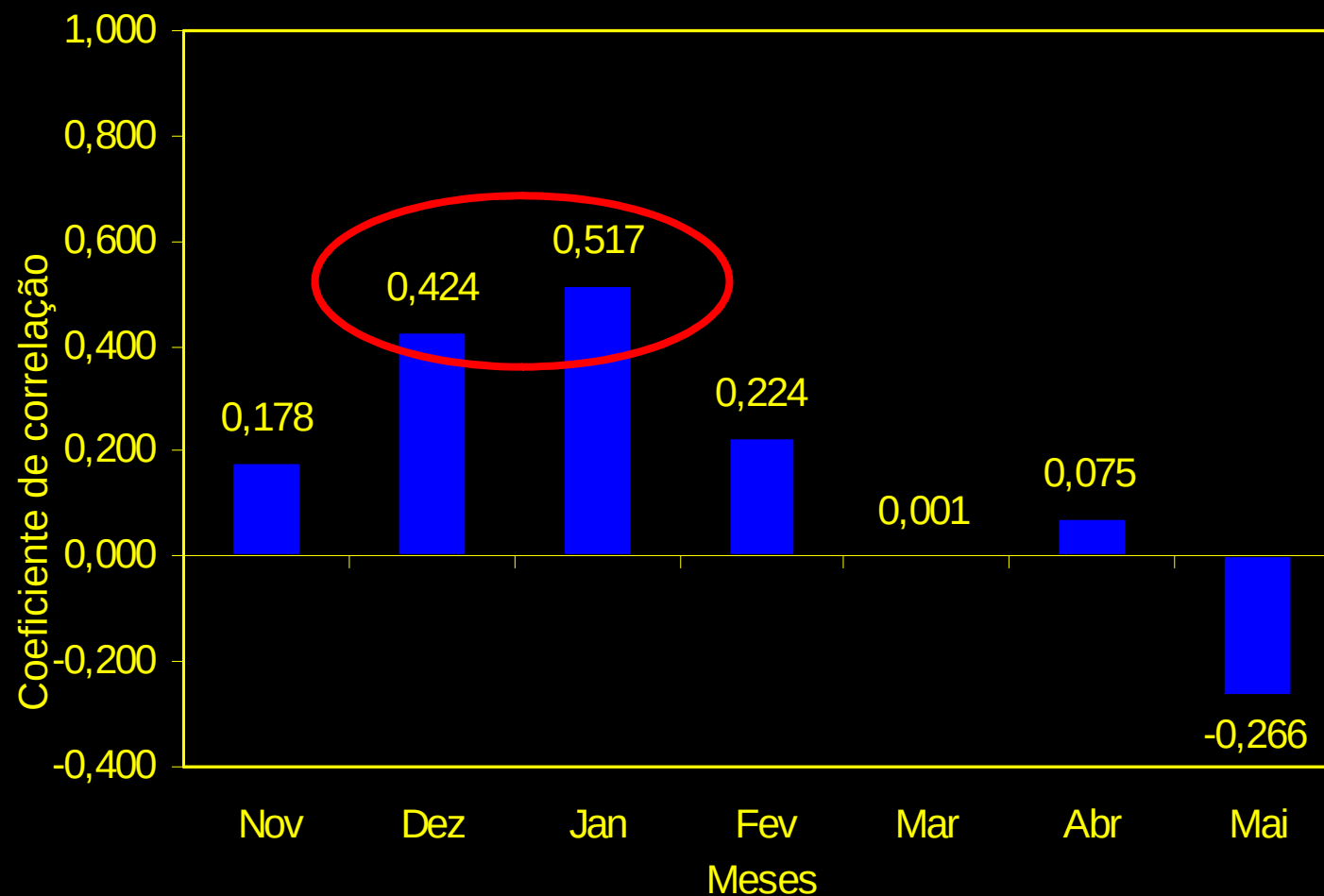
ETr/ETo e rendimento de soja

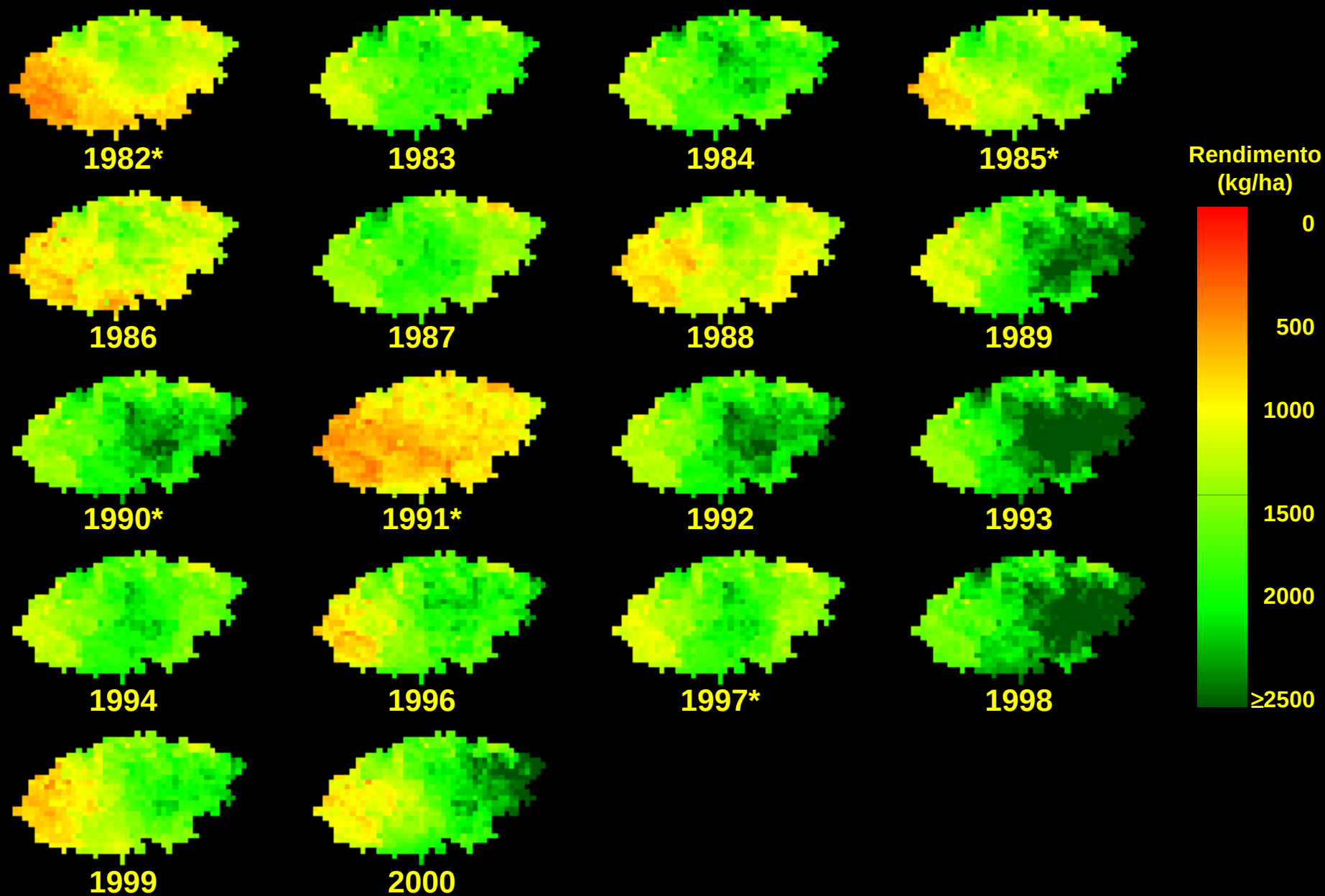


E_{Tr}/E_{To} e γ/γ_m

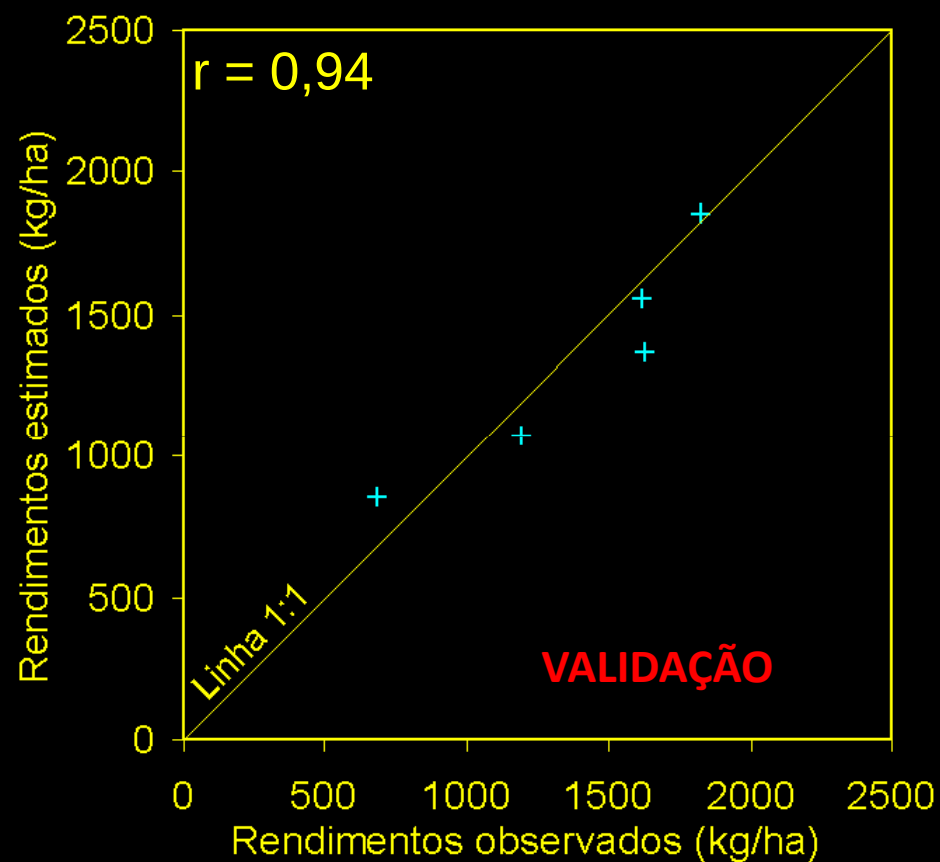
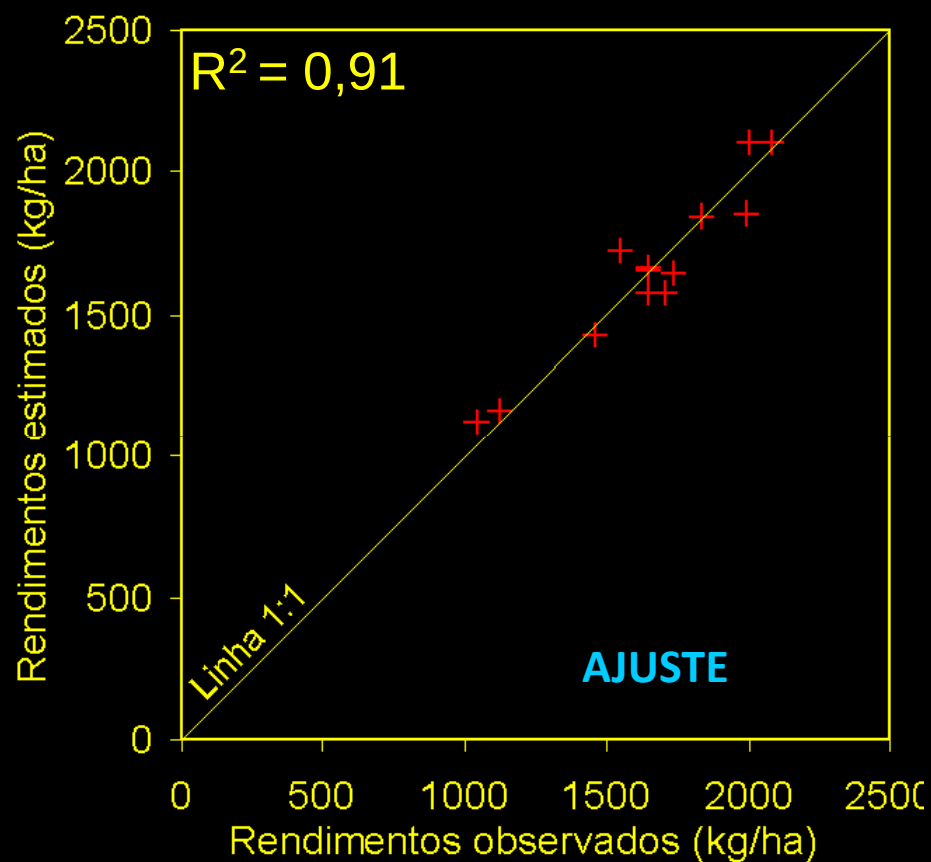


Termos espectral NDVI (AVHRR/NOAA)

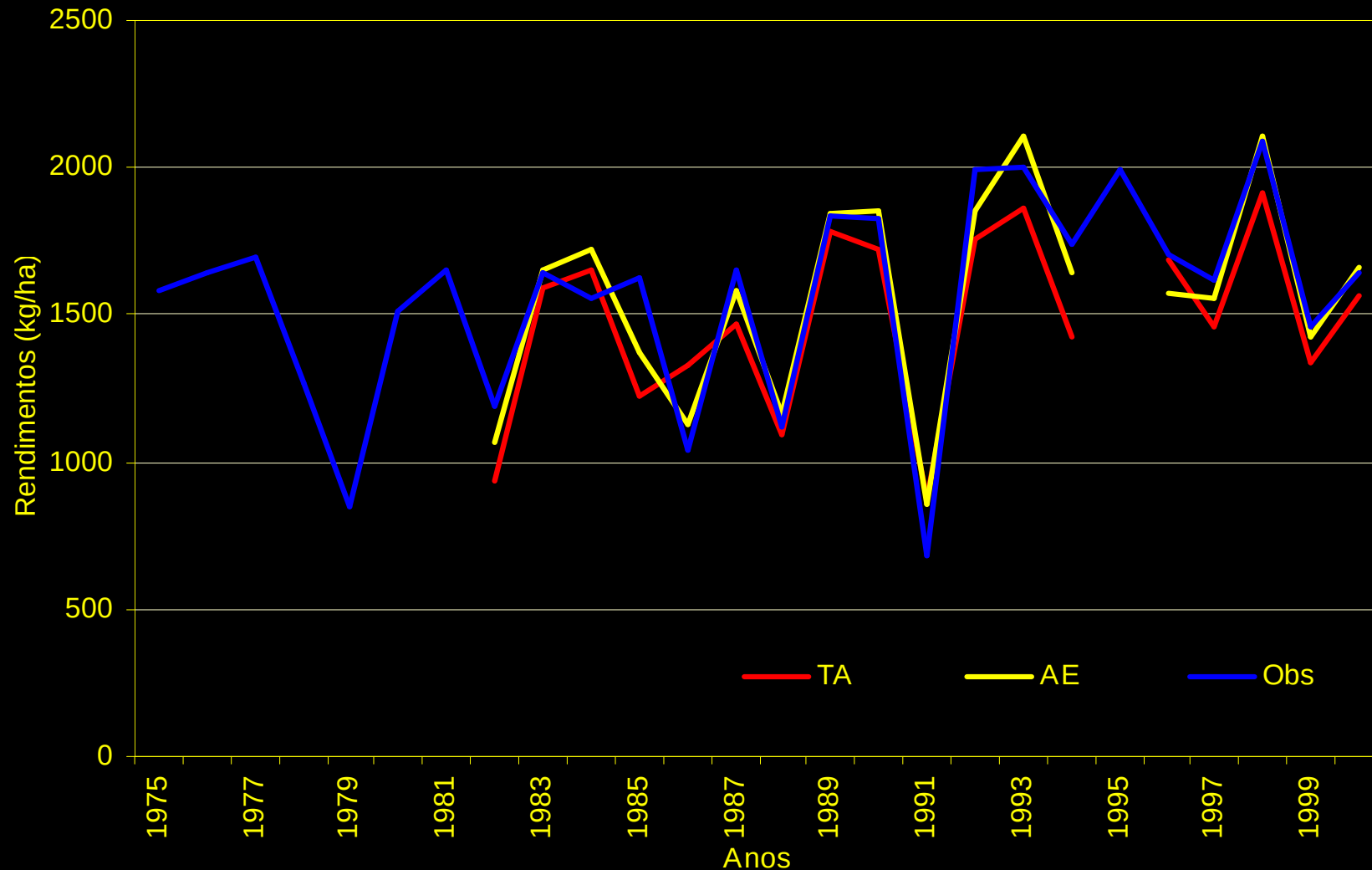




Rendimentos de soja (kg/ha) estimados pelo MAE



Rendimentos de soja observados e estimados (MAE)



Estimativas do rendimento da cultura da soja no Rio Grande do Sul:
Termo Agrometeorológico (TA); Modelo agrometeorológico-espectral (AE);
rendimento observado (Obs)

Rizzi (2005)

Modelo agrometeorológico-espectral:

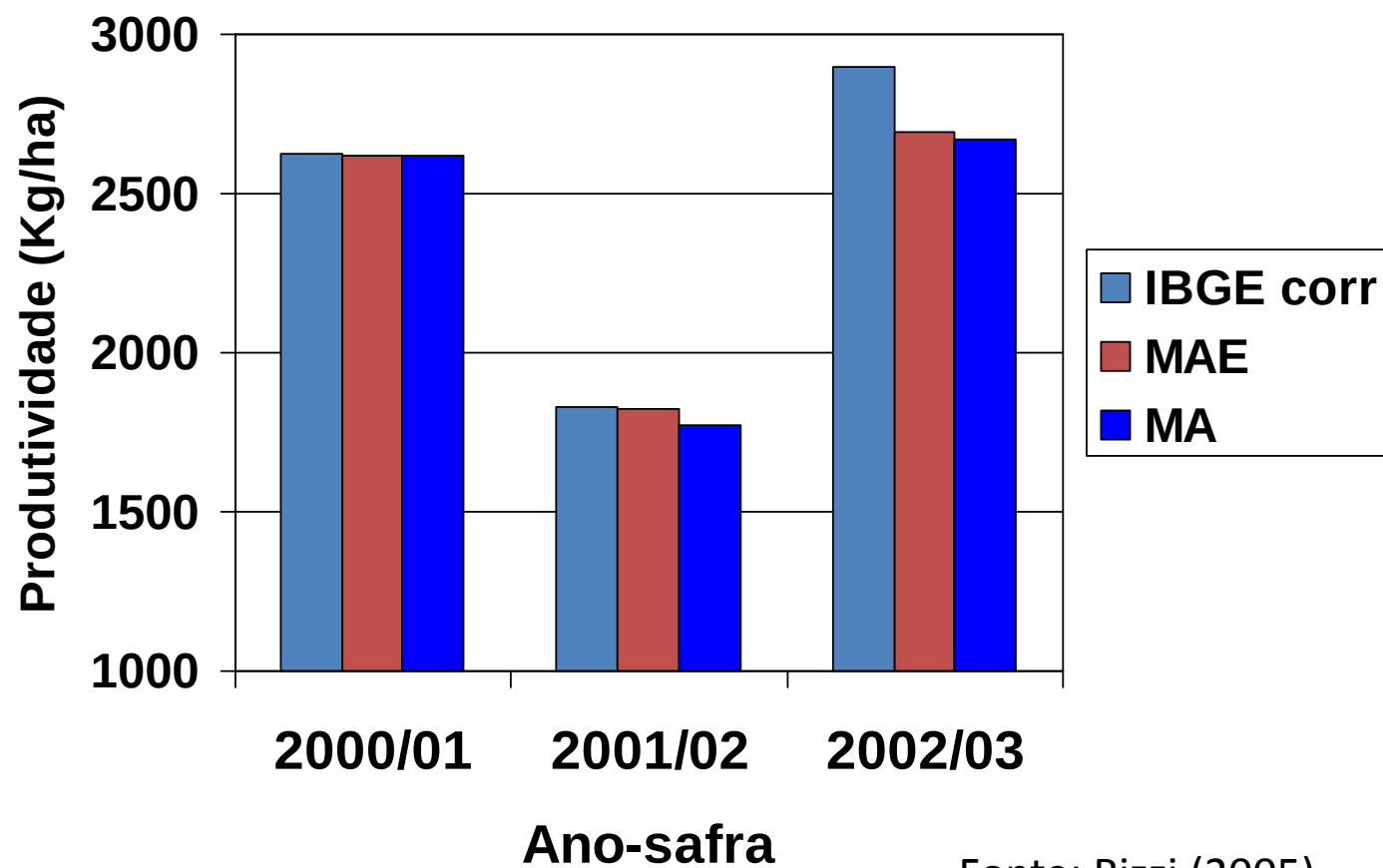
Período: 3 anos (2001 a 2003)

Área cultivada: imagens landsat

Rendimento: Doorenbos e Kassam (1979)

$$\frac{Y}{Y_m} = 1 - \beta \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right)$$

com IAF estimado a partir do NDVI MODIS



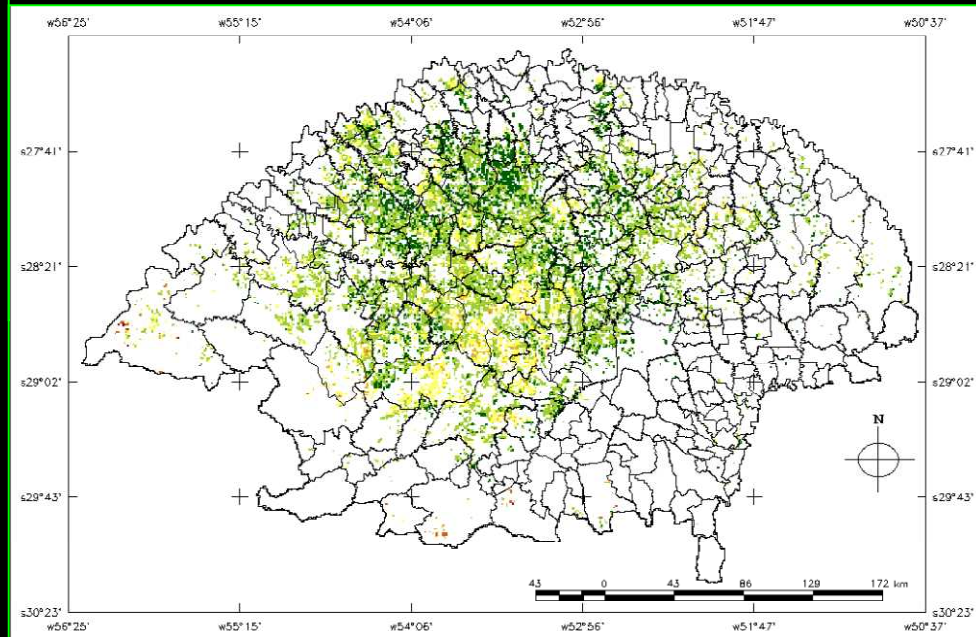
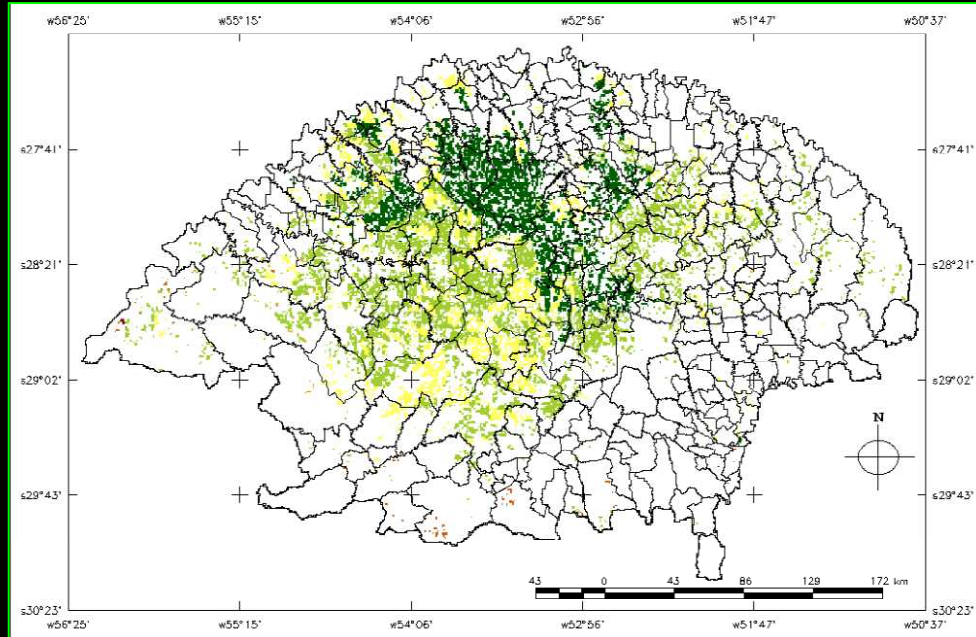
Fonte: Rizzi (2005)

Rendimentos de soja observados e estimados

Modelo agrometeorológico

Safrá: 2000-01

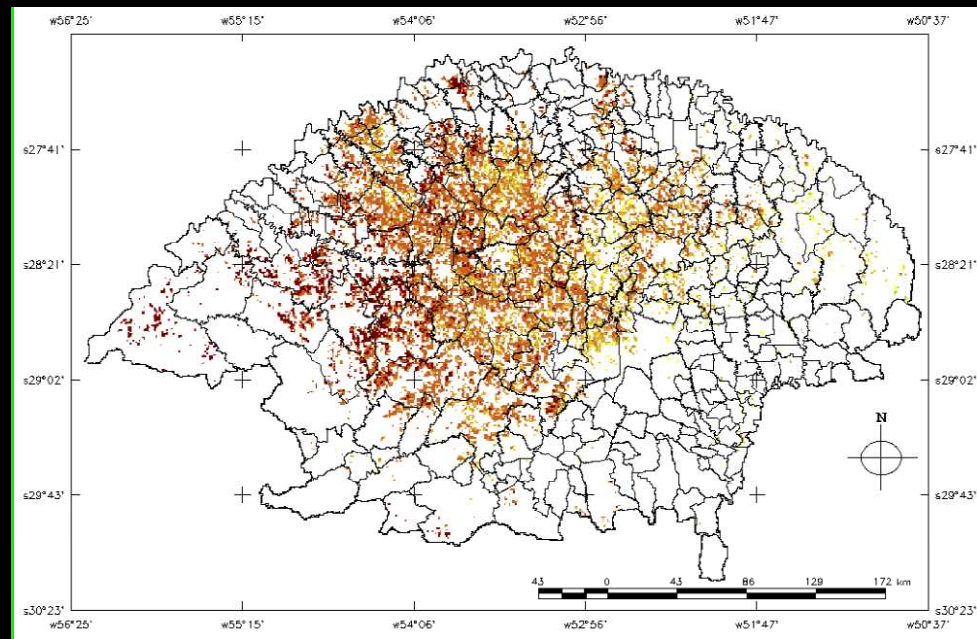
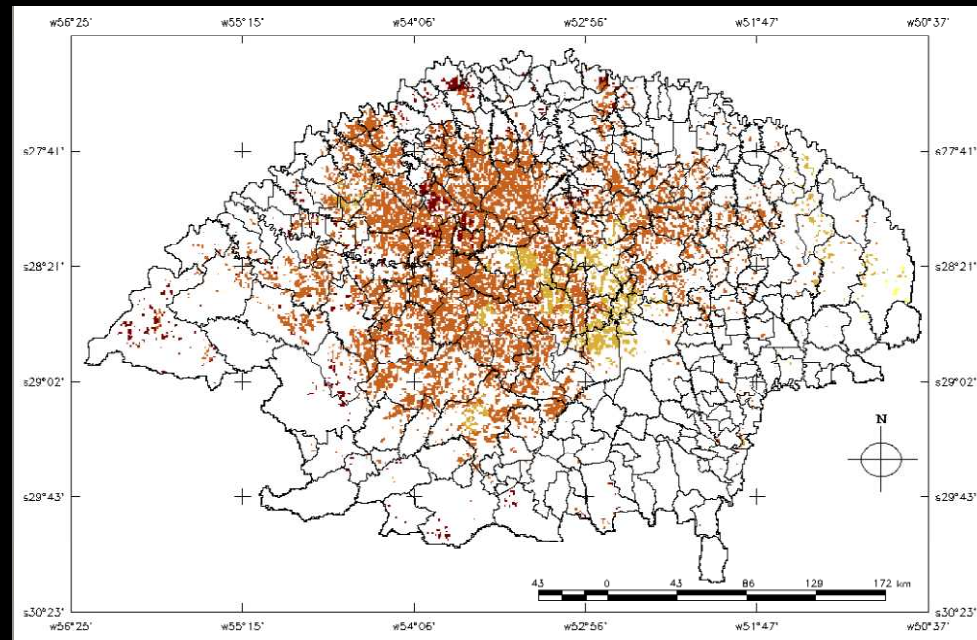
Modelo agrometeorológico espectral



Modelo agrometeorológico

Safrá: 2001-02

Modelo agrometeorológico espectral





Máscaras de cultivo

Construção baseada na evolução temporal das lavouras, diferenciada de outros tipos de alvos

→Imagens MODIS←



Modelagem agrometeorológica-espectral no Rio Grande do Sul/UFRGS

Arroz – regressão linear com seleção de variáveis por *stepwise*

Trigo – regressão linear com seleção de variáveis induzida
(relação clima-planta)

Soja - regressão linear, com termo agrometeorológico proposto
por Jensen (1968)

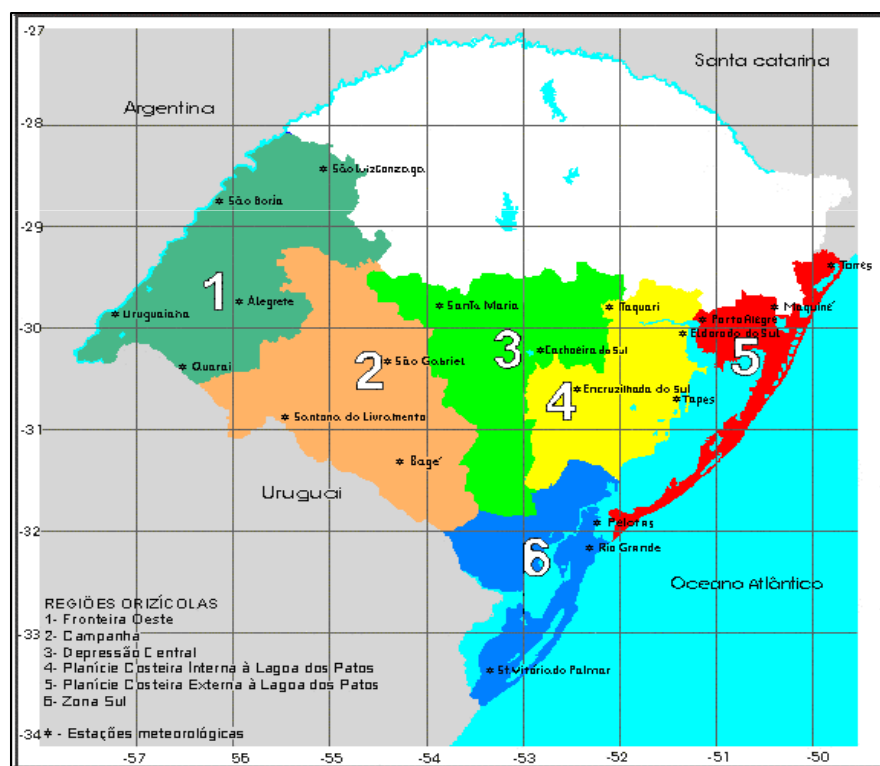


ARROZ IRRIGADO

Klering et al. (2012)



Região Orizícola do Estado do Rio Grande do Sul.



Região 1- Fronteira Oeste

Região 2- Campanha

Região 3- Depressão Central

Região 4- Planície Costeira Interna à Lagoa dos Patos

Região 5- Planície Costeira Externa à Lagoa dos Patos

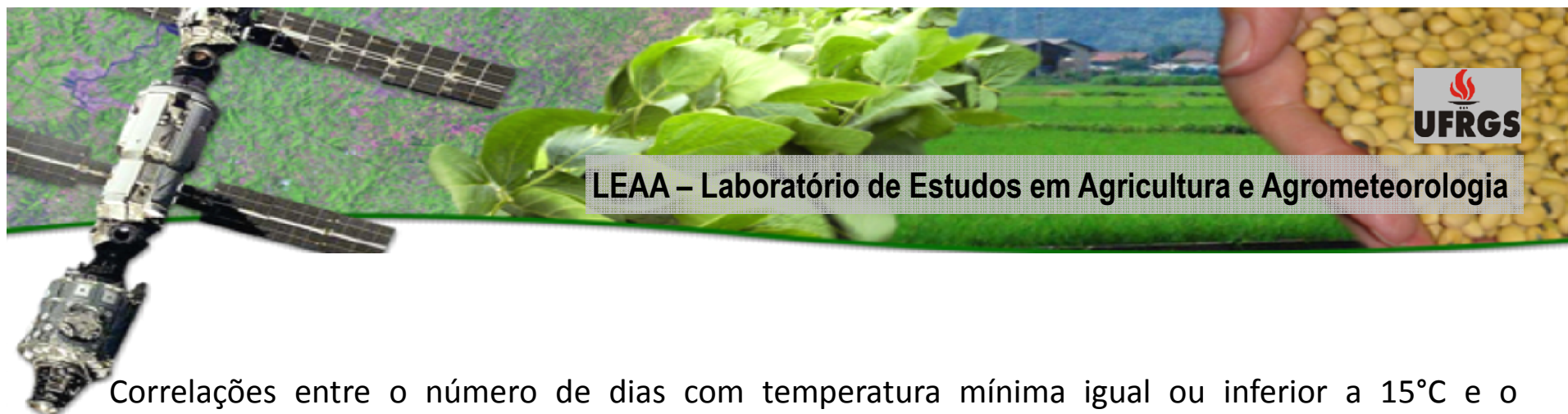
Região 6- Zona Sul



Correlações entre a radiação solar global e o rendimento corrigido de arroz irrigado nas diferentes regiões orizícolas do RS, período 2000/01 a 2009/10

Radiação Solar	Região orizícola					
	1	2	3	4	5	6
Setembro	-0,62**	-0,07	0,11	0,47*	0,05	0,43
Outubro	0,17	0,36	0,10	0,17	0,04	-0,08
Novembro	0,67**	0,44*	0,92***	0,64**	0,62**	0,40
Dezembro	0,40	0,59**	0,77***	0,35	0,43*	0,46*
Janeiro	-0,23	0,07	-0,24	0,31	0,34	-0,39
Fevereiro	0,02	-0,08	0,28	0,68**	-0,13	0,01
Março	-0,09	0,19	0,64**	0,33	0,39	-0,02
Abril	-0,22	0,15	-0,01	0,28	0,20	0,17

1. Fronteira Oeste; 2. Campanha; 3. Depressão Central; 4. Planície Interna; 5. Planície Externa;
6. Zona Sul; RS. Rio Grande do Sul



LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia

Correlações entre o número de dias com temperatura mínima igual ou inferior a 15°C e o rendimento corrigido de arroz irrigado nas diferentes regiões orizícolas do RS, período 1982-2006

ND Tmin≤15°C	Região orizícola					
	1	2	3	4	5	6
Setembro	0,04	0,27	0,03	0,77***	-0,03	0,66**
Outubro	0,15	0,36	-0,13	0,05	-0,47*	0,06
Novembro	0,42	0,37	0,52*	0,34	0,66**	0,19
Dezembro	0,43	0,45*	0,39	0,45*	-0,14	-0,09
Janeiro	0,18	0,27	0,42	0,57**	0,19	0,18
Fevereiro	-0,26	-0,26	-0,01	0,22	-0,19	-0,41
Março	-0,37	-0,51*	-0,02	-0,12	0,11	-0,73***
Abril	-0,35	-0,38	-0,20	-0,27	0,15	-0,60**

1. Fronteira Oeste; 2. Campanha; 3. Depressão Central; 4. Planície Interna; 5. Planície Interna;
6. Zona Sul; RS. Rio Grande do Sul.



Modelo de rendimento para arroz

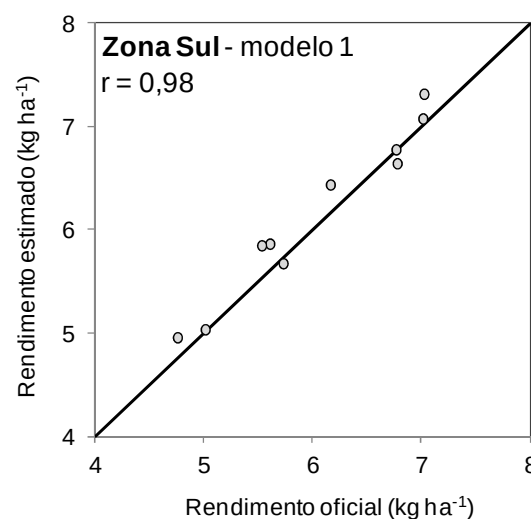
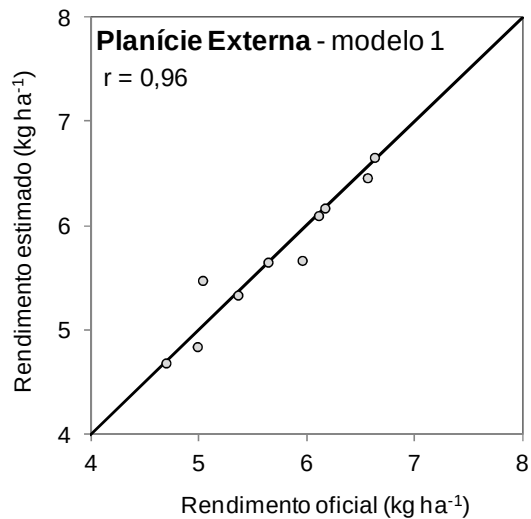
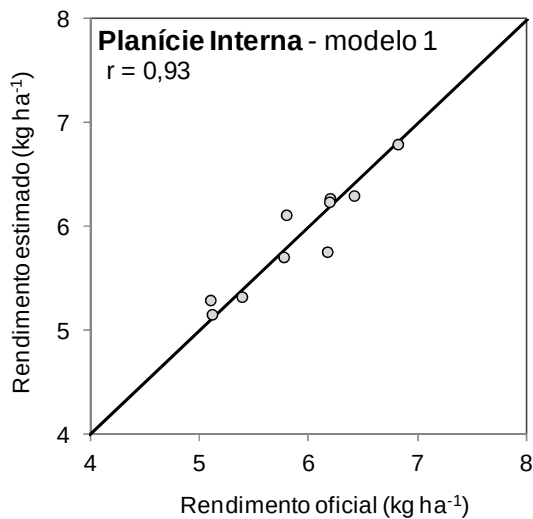
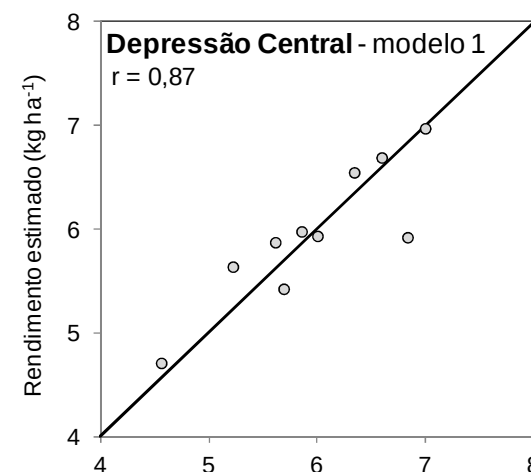
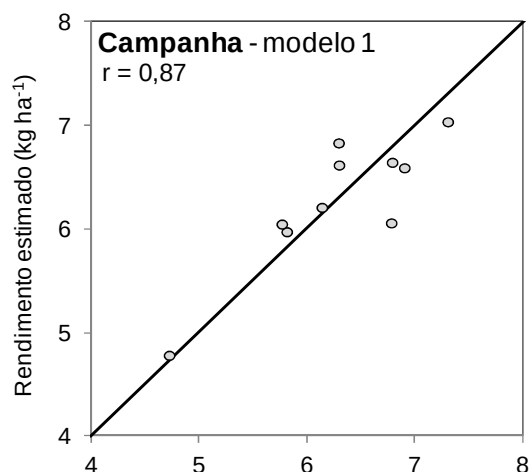
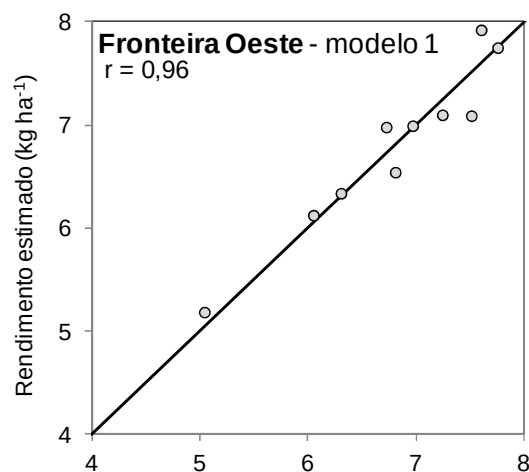


Seleção – *Stepwise*

Termo
agrometeorológico:
Radiação e/ou Tmin

Termo espectral:
NDVI

Região	Modelo	R ²	Significância	Erro Padrão (t ha ⁻¹)
1	$Y = 27,78 - 36,93\text{NDVI}_{\text{Nov1}} - 0,31\text{Tminabs}_{\text{Dez1}} - 0,13\text{Tminabs}_{\text{Fev2}}$	0,93	0,001	0,279 (4%)*
2	$Y = 12,00 + 8,42\text{NDVI}_{\text{Set1}} - 15,19\text{NDVI}_{\text{Mar2}}$	0,75	0,008	0,417 (7%)*
3	$Y = -9,99 + 21,46\text{NDVI}_{\text{Fev1}} - 0,10\text{Tminabs}_{\text{Mar1}}$	0,76	0,013	0,421 (7%)*
4	$Y = -5,77 + 6,37\text{NDVI}_{\text{Jan2}} + 0,001\text{Ra}_{\text{Jan1}}$	0,88	0,001	0,221 (4%)*
5	$Y = -7,38 - 12,51\text{NDVI}_{\text{Nov1}} + 6,13\text{NDVI}_{\text{Dez2}} + 16,78\text{NDVI}_{\text{Fev2}} + 0,10\text{Tminabs}_{\text{Nov2}}$	0,95	0,005	0,249 (4%)*
6	$Y = 13,66 - 9,63\text{NDVI}_{\text{Nov2}} - 4,0\text{NDVI}_{\text{Dez1}} + 11,66\text{NDVI}_{\text{Dez2}} - 0,001\text{Ra}_{\text{Jan1}}$	0,96	0,001	0,199 (3%)*
RS	$Y = 3,66 - 6,57\text{NDVI}_{\text{Nov1}} + 2,13\text{NDVI}_{\text{Dez2}} + 0,16\text{Tminabs}_{\text{Out2}}$	0,70	0,001	0,445 (7%)*



Modelo de rendimento para arroz

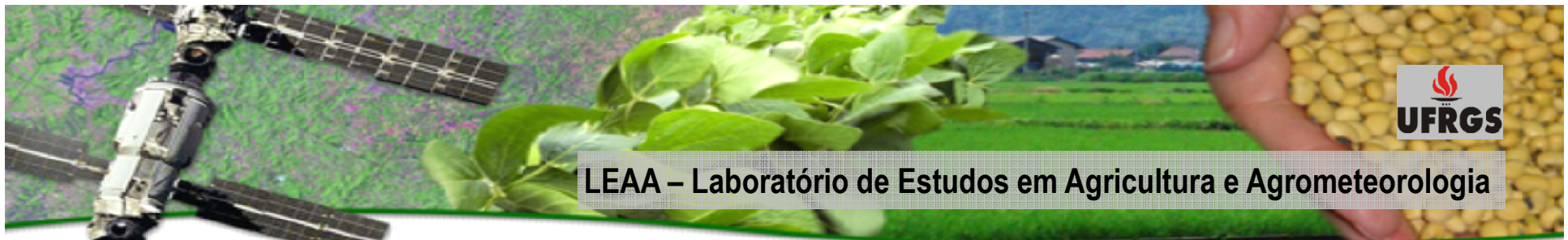


LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia



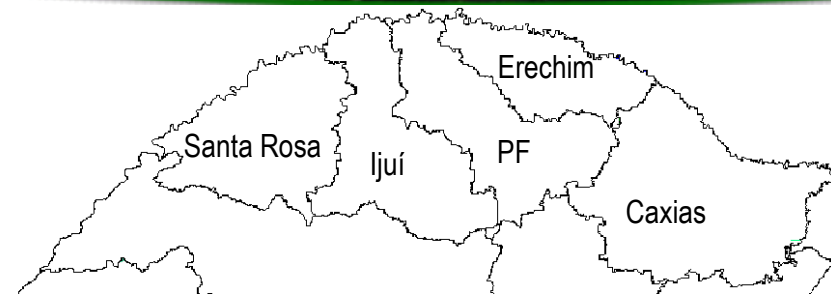
TRIGO

JUNGES et al. (2011)



LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia

Rendimento



Rio Grande do Sul

1.794 kg ha⁻¹ (CV =19%)

Caxias do Sul

2.533 kg ha⁻¹ (CV =8%)

Erechim

2.066 kg ha⁻¹ (CV =14%)

Passo Fundo

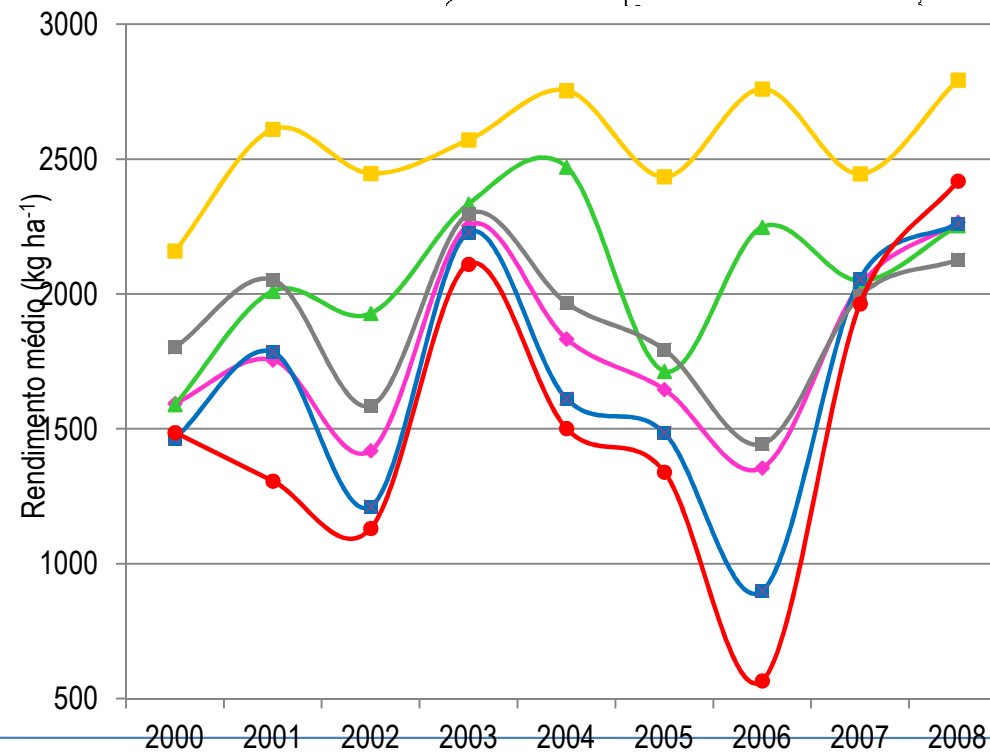
1.896 kg ha⁻¹ (CV =14%)

Ijuí

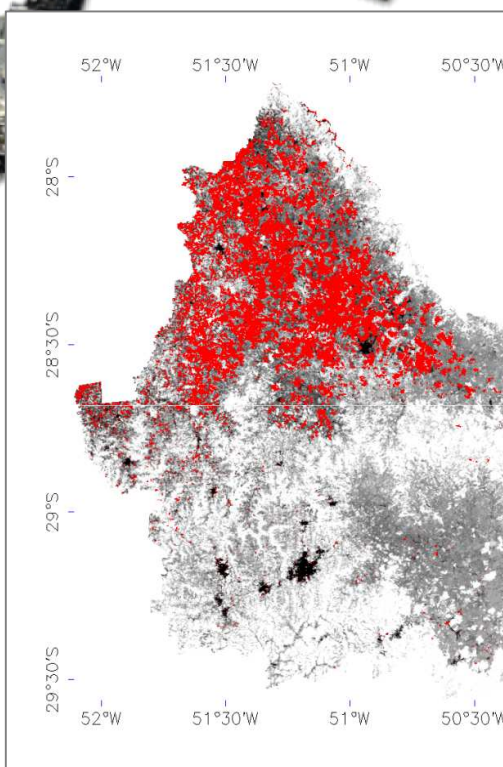
1.667 kg ha⁻¹ (CV =28%)

Santa Rosa

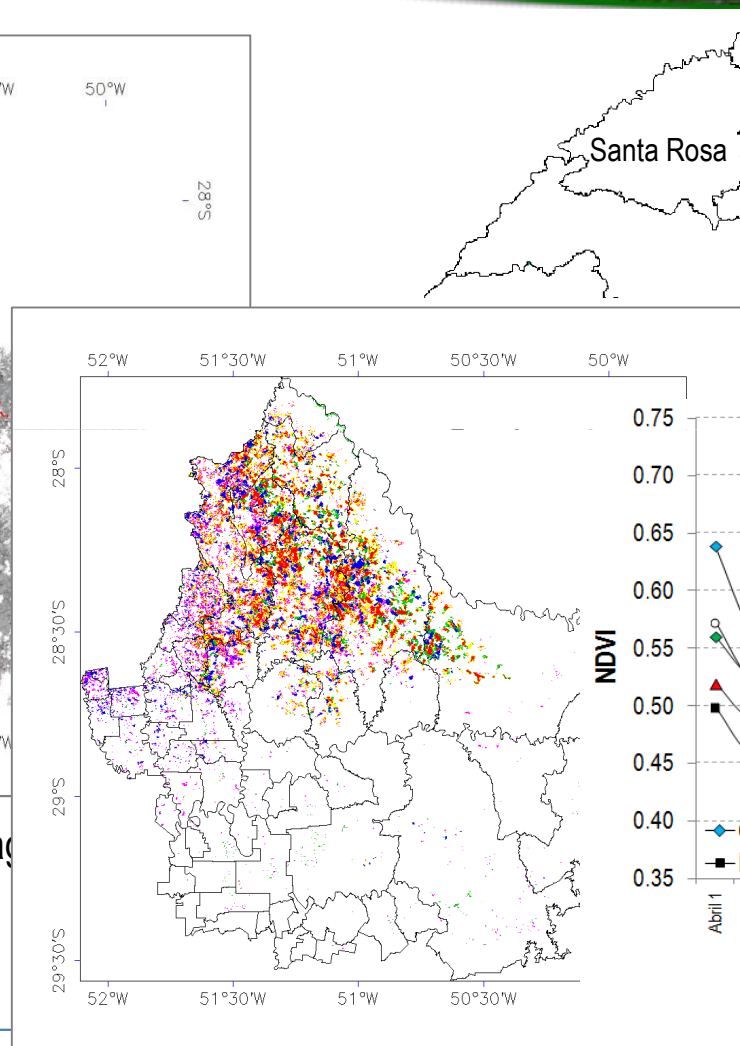
1.5354 kg ha⁻¹ (CV =36%)



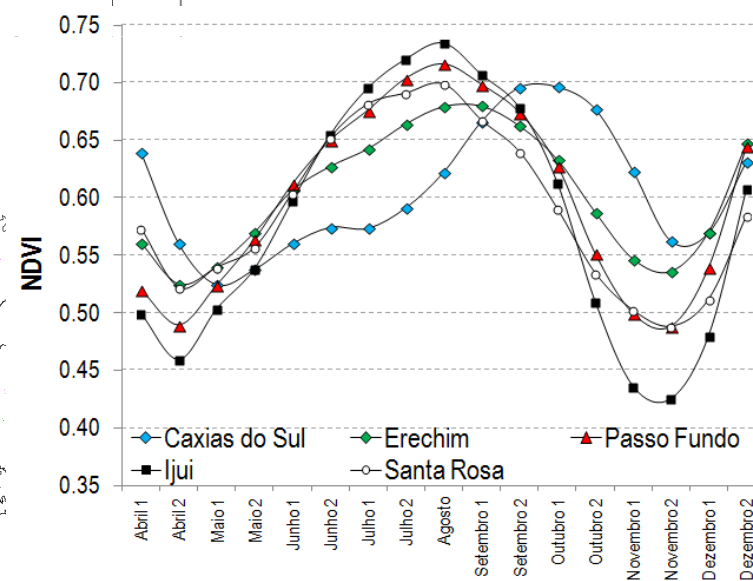
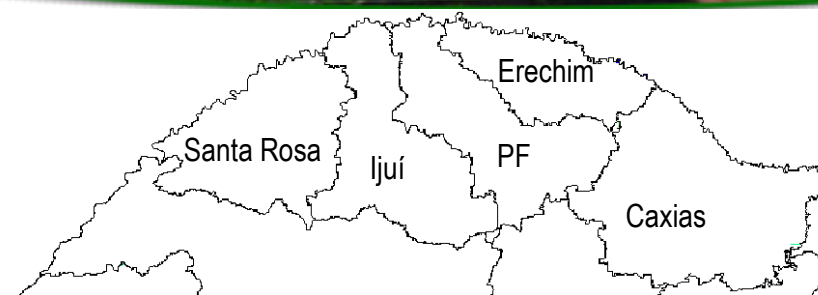
LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia



Máscara (limiar aplicado à imagem)



Máscara (classificação – classe 2)





LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia

Modelos agrometeorológicos-espectrais de estimativa de rendimento de grãos de trigo

Equação: $Y = -2756 - 57*IG - 3*PREC + 2332*NDVI$

IG_soma_ago_set, Prec_soma_ago_set, NDVI_soma_ago_set

Santa Rosa

Equação: $Y = -5966 - 51*IG - 2,8*PREC + 617*NDVI_T + 1886*NDVI$

IG_soma_ago_set, Prec_soma_ago_set, NDVI_tempo, NDVI_soma_ago_set

Ijuí

Equação: $Y = 2044 - 31*IG - 1,8*PREC + 1602*NDVI$

IG_soma_ago_set, Prec_soma_ago_set, NDVI_diferença

Passo Fundo

Equação: $Y = 1461 - 233*IG - 1,8*PREC + 4063*NDVI$

IG_set2, Prec_soma_set1_out1, NDVI_diferença

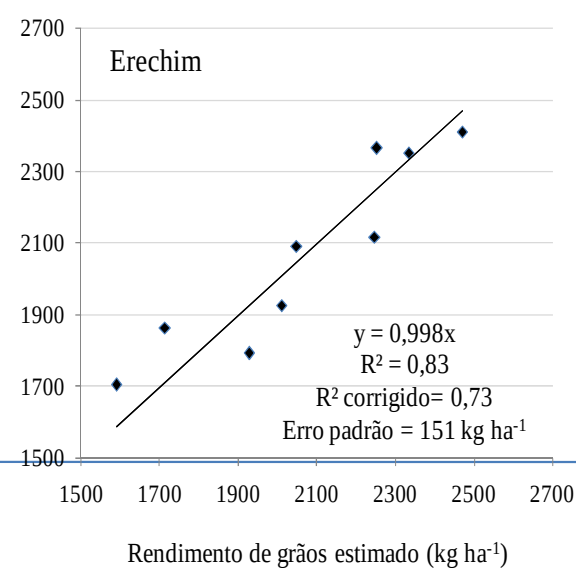
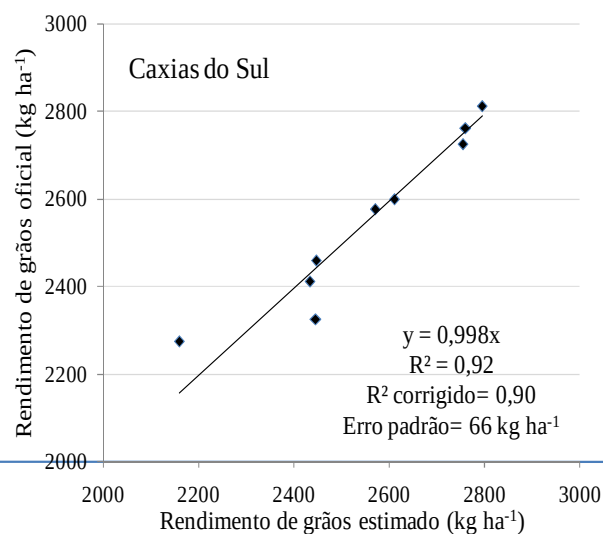
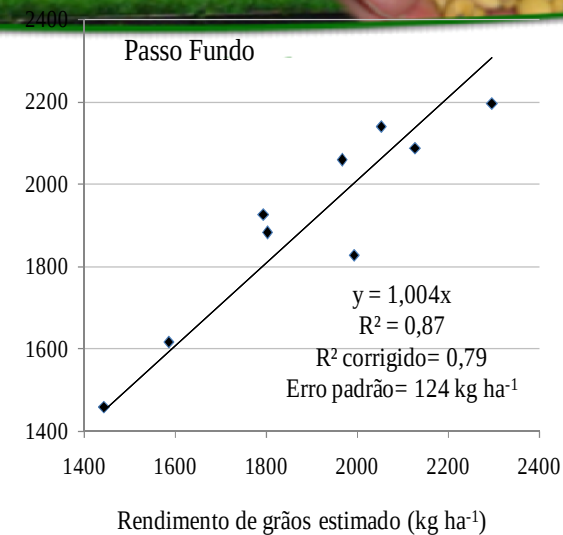
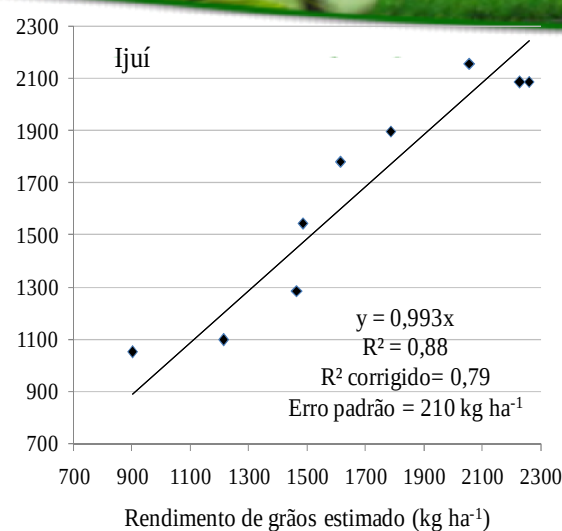
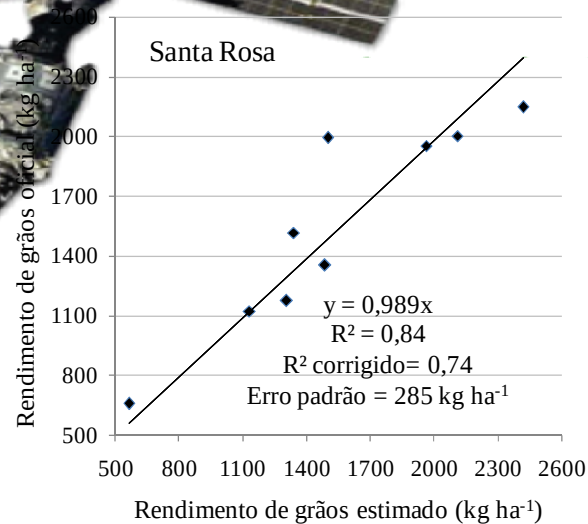
Erechim

Equação: $Y = -2977 - 0,87*PREC + 3835*NDVI$

Prec_soma_set_out; NDVI_soma_out

Caxias do Sul

LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia





LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia



TRIGO

Steinmetz et al. (1990)



STEINMETZ, S. ; GUERIF, M. ; DELECOLLE, R. ; BARET, F. . Spectral estimates of the absorbed photosynthetically active radiation and light use efficiency of a winter wheat crop subjected to nitrogen and water deficiencies. International Journal of Remote Sensing, v. 11, n.10, p. 1797-1808, 1990.

Matéria seca

Eficiência de conversão de Rg em Matéria seca

$$MS = \int_t \epsilon_s \epsilon_i \epsilon_c S dt$$

Radiação solar - Rg

Fração PAR da Rg

Fração interceptada da Rg

NDVI



LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia



Soja

Fontana et al. (2009)



Modelo de rendimento para soja

Seleção induzida de variáveis

Termo espectral:
NDVI (fev-mar)

$$Y = a_0 + a_1 TA + a_2 TE$$

Série de ajuste
(2001 – 2008)

Termo agrometeorológico:
Evapotranspiração relativa (nov-mar)
(Jensen, 1968)

$$TA = Y_m \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_r}{ET_o} \right)_i^{\lambda_i}$$



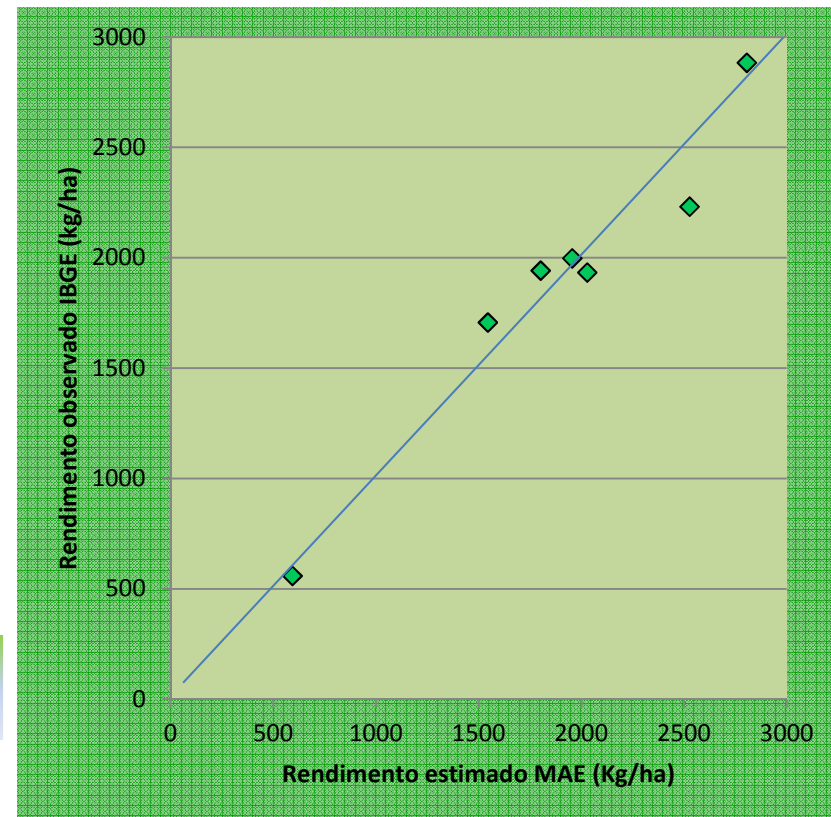


Modelo de rendimento para soja



$$Y = -1,698 + 0,66 TA + 2,78 TE$$

$$R^2=0,951$$





LEAA – Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia

Considerações Finais

Dados espectrais, especialmente os índices de vegetação obtidos de imagens orbitais, são indicadores das condições de crescimento e desenvolvimento das plantas;

Os modelos de estimativa de rendimento envolvendo o uso de imagens de satélite são robustos;

Os métodos são de simples aplicação, atendendo à demanda por operacionalização de ações (informações para grandes regiões, em tempo hábil e compatível com cronograma dos levantamentos oficiais);

Quais são as principais carências? “DADOS”
