



Análise Espacial da Colheita de Cana-de-açúcar no estado de São Paulo

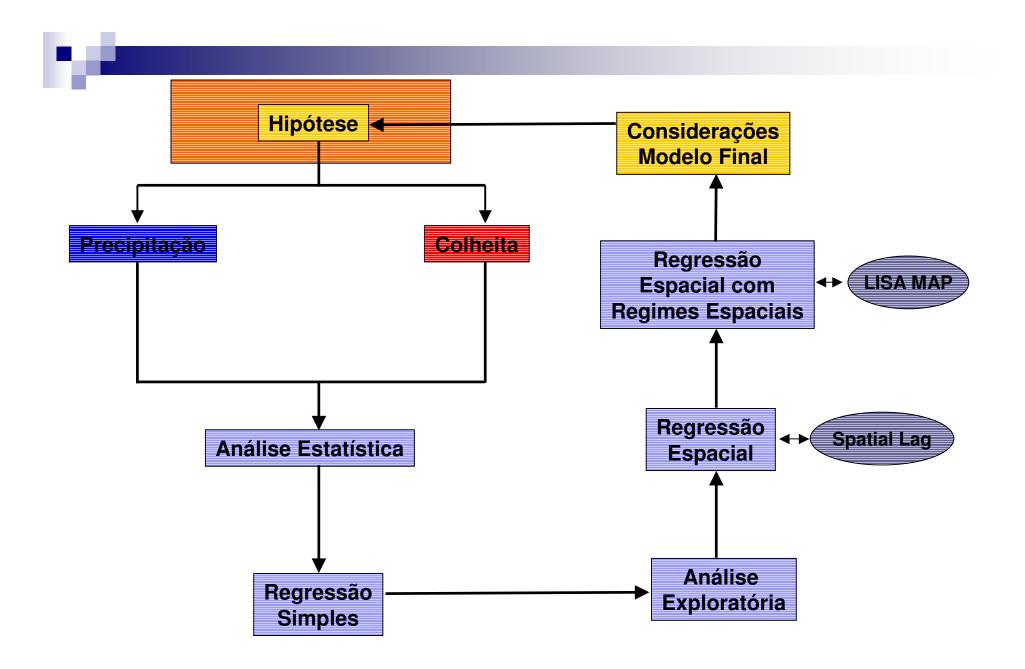
Wagner F. Silva

Daniel A. Aguiar

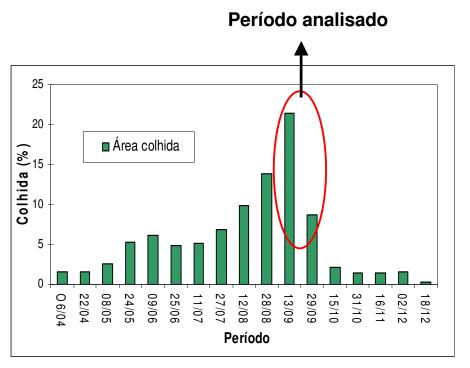


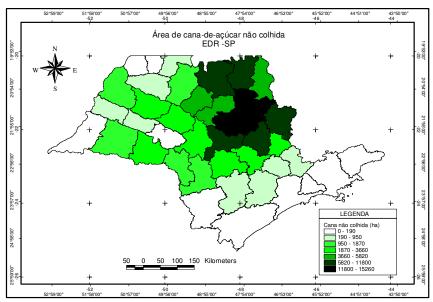
IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

- Brasil: maior produtor de cana-de-açúcar e exportador de açúcar e álcool do mundo.
- Informações confiáveis sobre a quantidade de matéria prima disponível para a produção de açúcar e álcool.
- Colheita se estende, tradicionalmente, de abril a novembro e é feita com o uso de máquinas de grande porte.



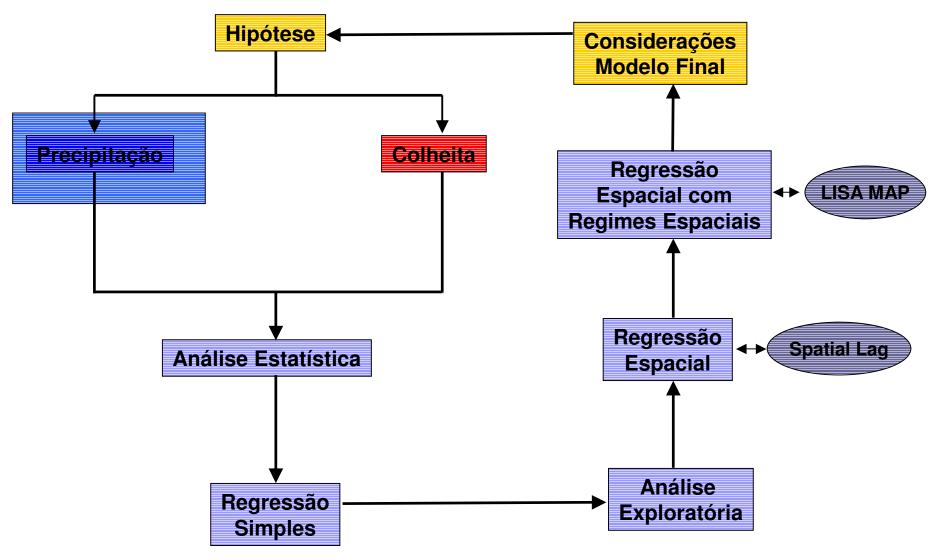
A existência de cana bisada (4,16%), ao final da safra de 2004 (UNICA, 2005), se deu em decorrência à precipitação elevada (entre outros fatores).



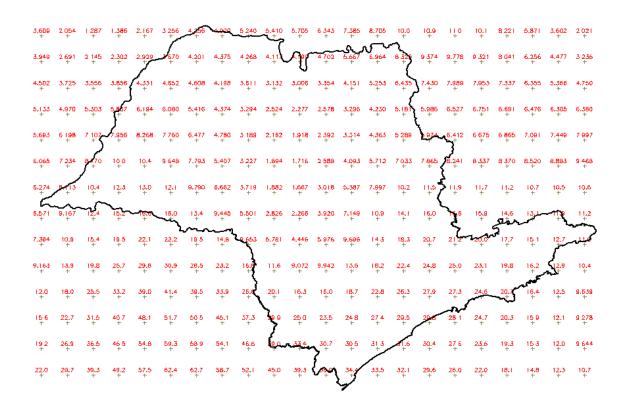


- A chuva pode ajudar a explicar a diminuição da colheita de cana-de-açúcar?
- A chuva é um dos fatores que atrapalhou a colheita da cana no período analisado?



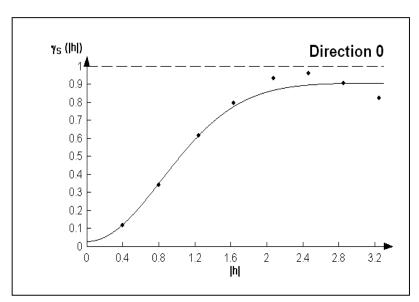


DADOS DE PRECIPITAÇÃO



- CPTEC
- Previsão de 6 em 6h (Modelo ETA)
- Grade com resolução de 40X40Km
- Precipitação acumulada por período (composição MODIS)

SEMIVARIOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO



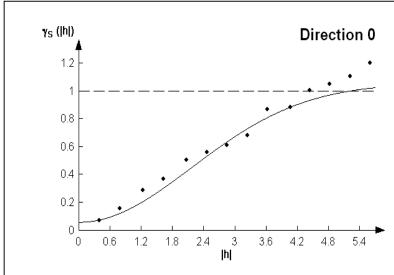
13/09 - 28/09

Modelo: Gaussiano

Pepita: 0,03

Alcance: 2,046

Patamar: 0,88



29/09 - 14/10

Modelo: Gaussiano

Pepita: 0,06

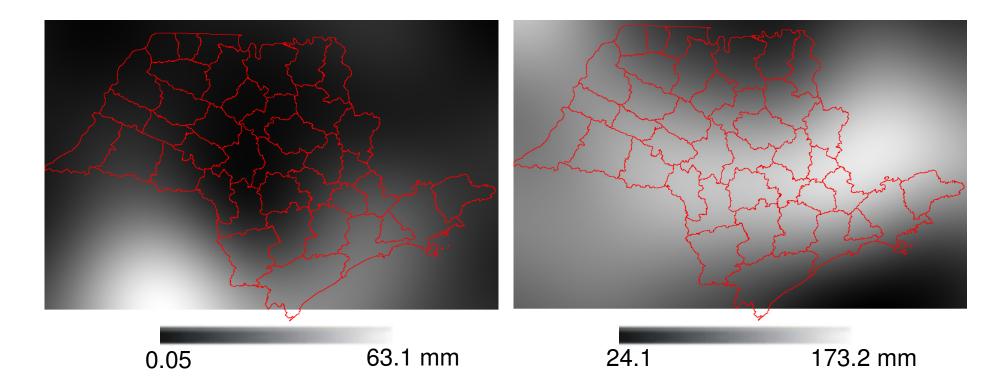
Alcance: 5,301

Patamar: 1,0

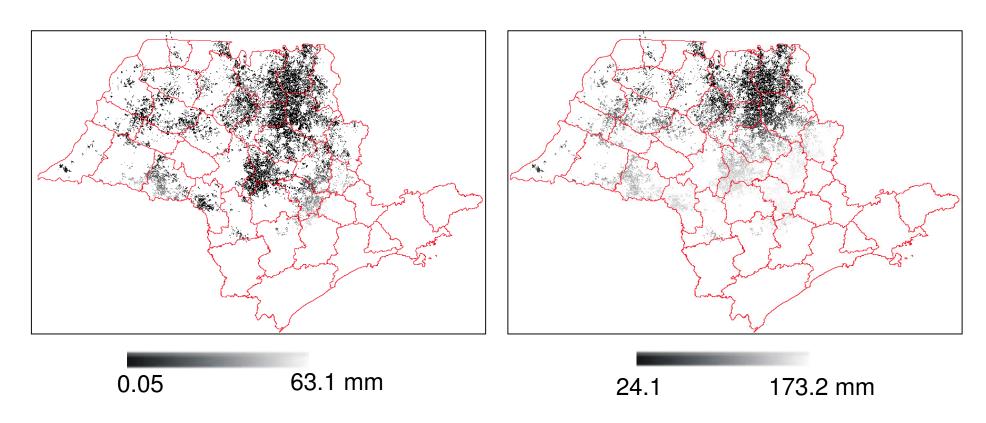
INTERPOLAÇÃO – KRIGEAGEM PRECIPITAÇÃO

Período 13/09 a 28/09/2004

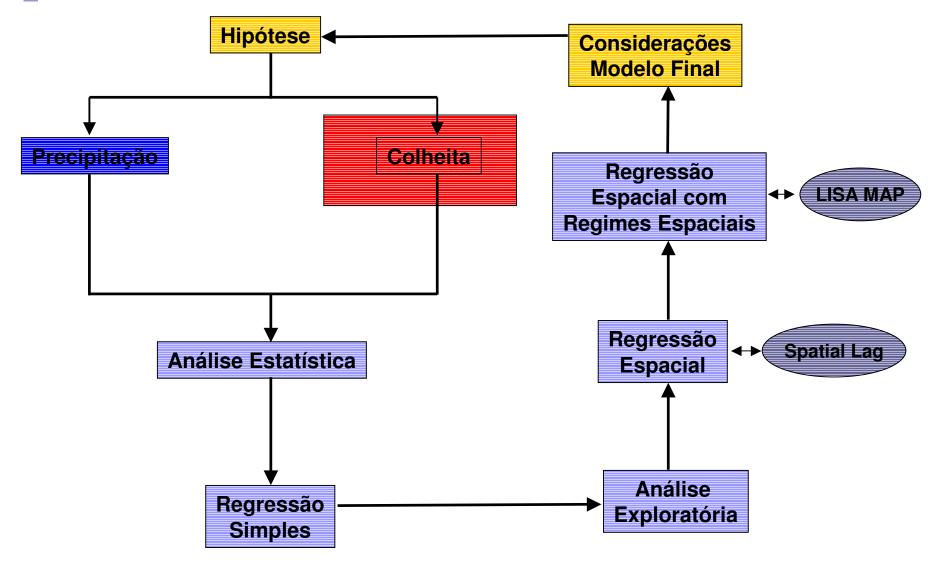
Período 29/09 a 14/10/2004



INTERPOLAÇÃO – KRIGEAGEM PRECIPITAÇÃO – ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR

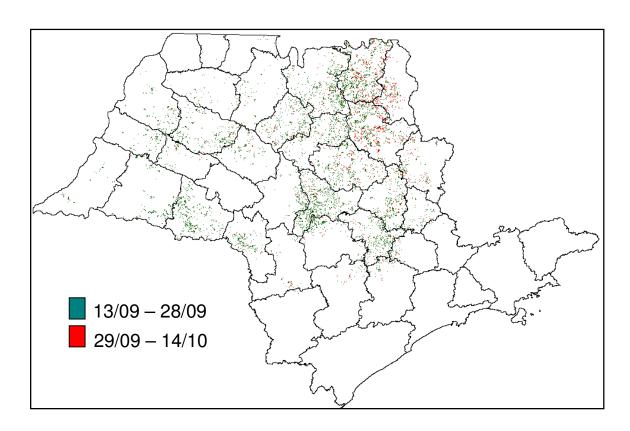




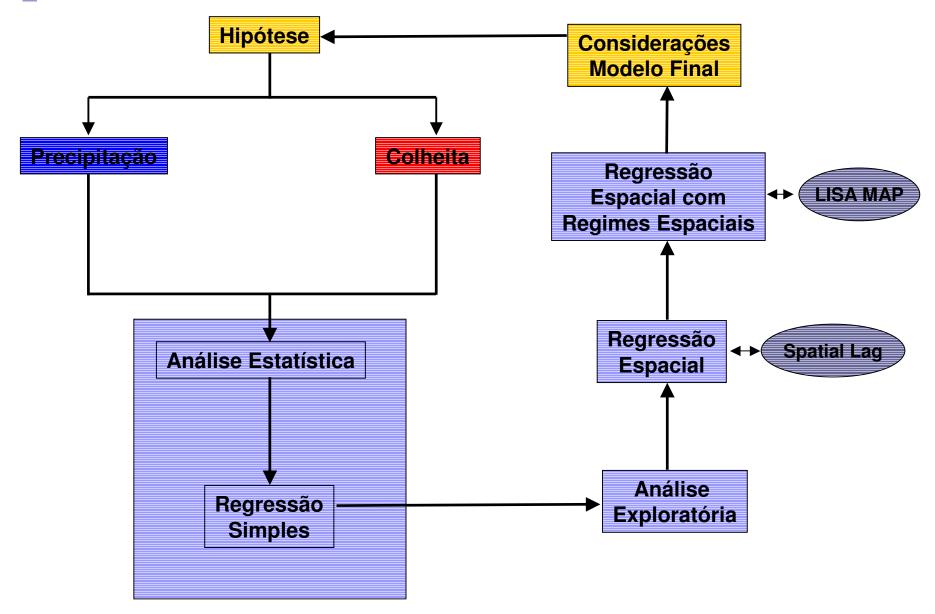


Área colhida de cana-de-açúcar nos dois períodos

Estatística por poligono – área colhida por EDR / Período







REGRESSÃO

Técnica estatística que descreve a relação entre duas ou mais variáveis através de função matemática.

Modelo Linear Clássico:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

onde:

Y = Variável dependente;

X = Variável independente;

 β_0 e β_1 = parâmetros da regressão;

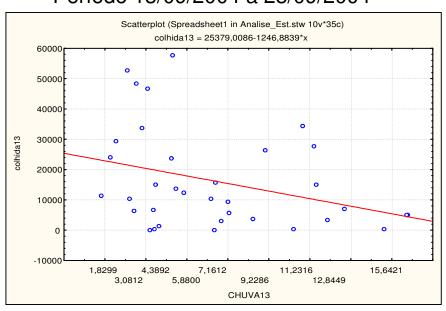
 ε = erro aleatório



Gráfico dispersão entre X e Y

Mostra a correlação entre as duas variáveis

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

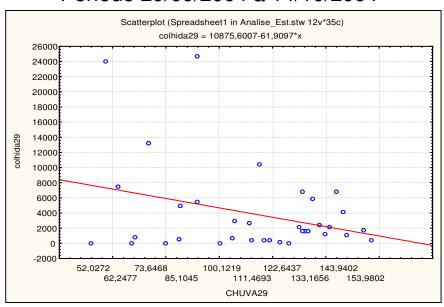


Correlação = - 0,33

- > Precipitação
- < Colheita

 $R^2 = 0.11$ Akaike = 776.9

Período 29/09/2004 a 14/10/2004



Correlação = - 0,30

- > Precipitação
- < Colheita

 $R^2 = 0.095$

Akaike = 707,6



Suposições do modelo de regressão

Para que um modelo de regressão seja válido

Resíduos devem ser:

- Variância constante
- Normalmente distribuídos;
- Independentes.

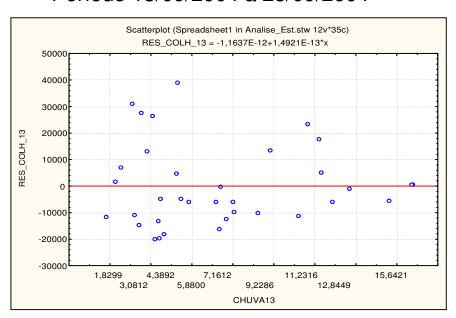
Verificar a presença de *outliers* → verificar se são influentes na determinação do modelo



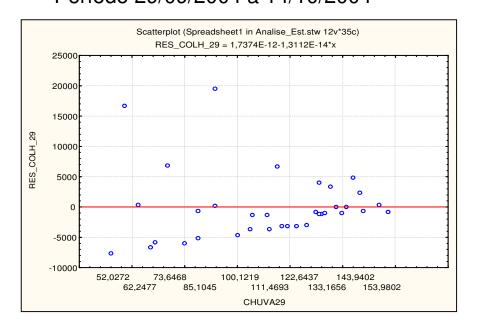
Gráfico dispersão entre resíduos e variável independente

Verificar se a variância é constante

Período 13/09/2004 a 28/09/2004



Período 29/09/2004 a 14/10/2004



Variância constante

Variância não constante

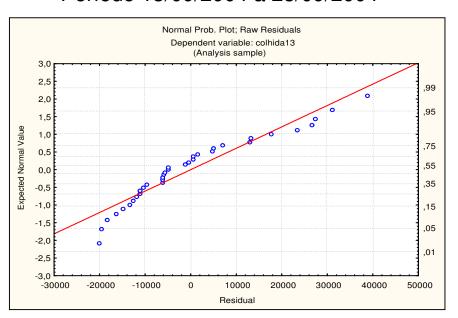
Teste Breusch-Pagan (5% significância)



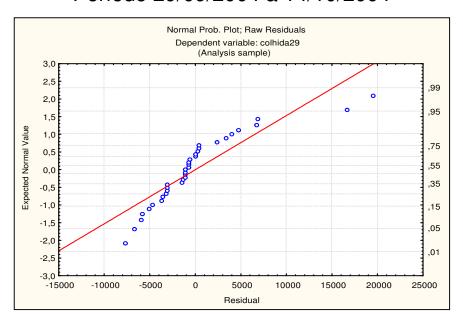
Gráfico de probabilidade normal dos resíduos

Verificar se os resíduos são normalmente distribuídos

Período 13/09/2004 a 28/09/2004



Período 29/09/2004 a 14/10/2004



Distribuição Normal

Distribuição não Normal

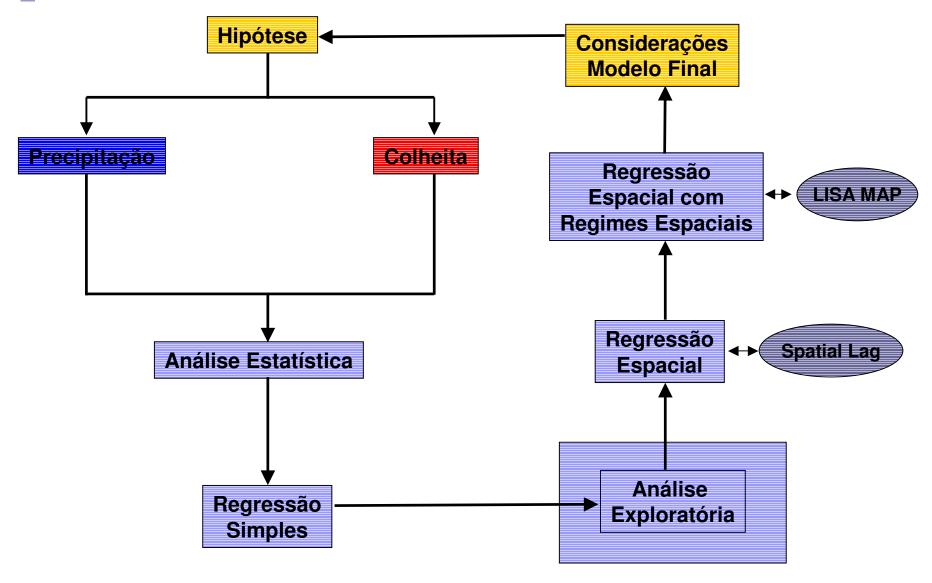
Teste Jarque-Bera (5% significância)



CONSIDERAÇÕES

- Há correlação entre as variáveis, porém os modelos de Regressão Linear Clássica não explicam bem essa correlação.
- Modelo não confiável para se fazer inferências para a variável dependente.
- Dependência espacial entre as variáveis → uso de modelos de regressão espacial.







ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

Índice de Moran

- Indicador global de autocorrelação espacial → Mostra como os valores estão correlacionados no espaço.

Valores:

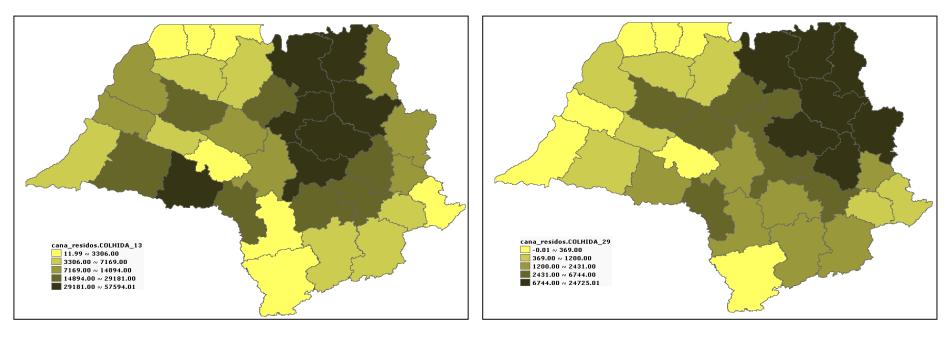
-1 a 0 → correlação inversa

0 a 1 → correlação direta

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CANA COLHIDA

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

Período 29/09/2004 a 14/10/2004



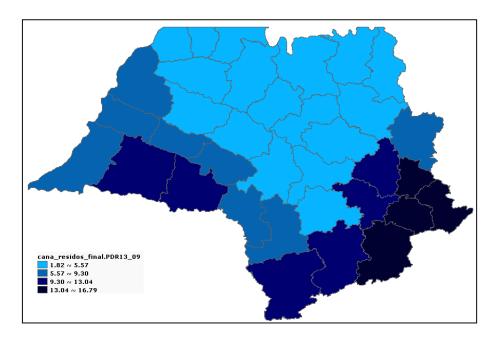
Existem agrupamentos espaciais

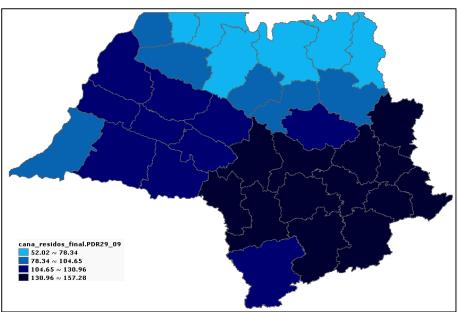


DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

Período 29/09/2004 a 14/10/2004



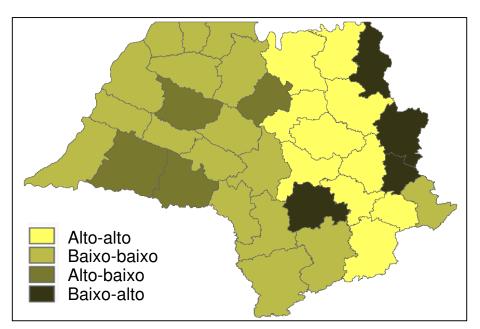


Existem agrupamentos espaciais

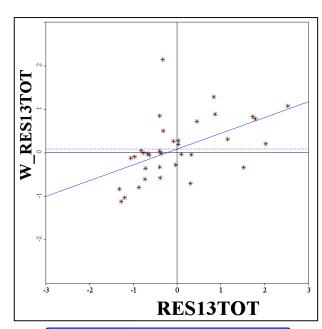
ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

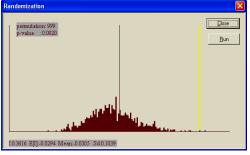
Diagrama de espalhamento de Moran para os resíduos da regressão

Período 13/09/2004 a 28/09/2004



I = 0.36

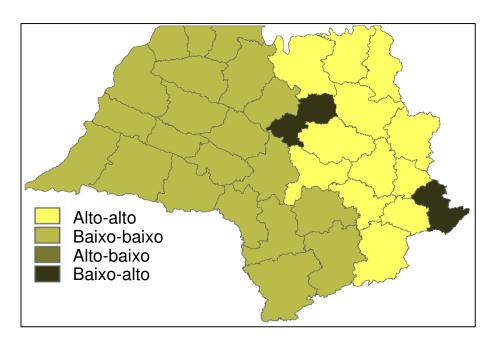




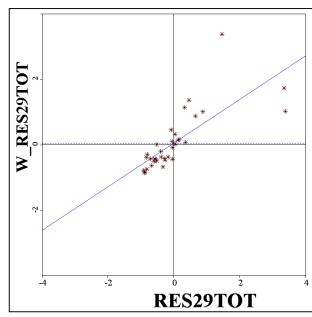
ANÁLISE DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL

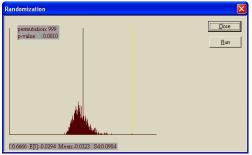
Diagrama de espalhamento de Moran para os resíduos da regressão

Período 29/09/2004 a 14/10/2004



I = 0.73



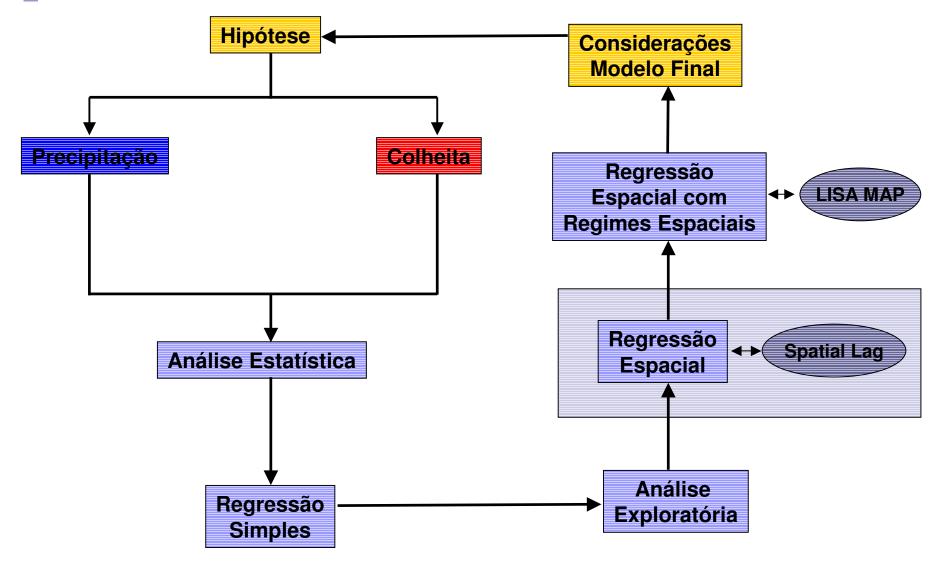




CONSIDERAÇÕES

- Correlação espacial constatada
- O que fazer ?
- Uso de modelos de regressão que incorporam efeitos espaciais.





MODELO COM EFEITO ESPACIAL GLOBAL

Supõe que é possível capturar a estrutura de correlação espacial num único parâmetro adicionado ao modelo de regressão clássico.

Modelo Spatial Lag → atribui a autocorrelação espacial à var. dependente Y.

$$Y = \rho WY + X\beta + \epsilon$$

onde:

W = matriz de correlação espacial;

WY = expressa a dependência espacial;

 ρ = coeficiente espacial autoprogressivo



MODELO SPATIAL LAG

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

Período 29/09/2004 a 14/10/2004

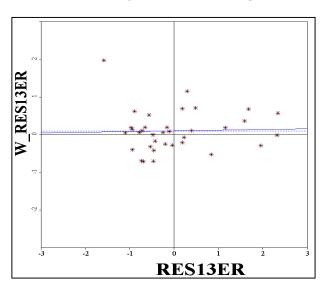
$$R^2 = 0.329$$

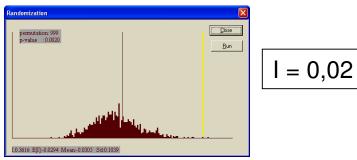
Akaike = 769.5

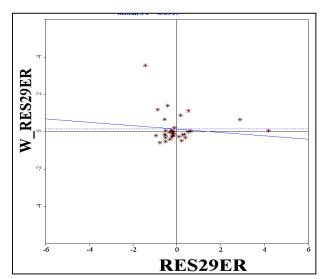
$$R^2 = 0,598$$

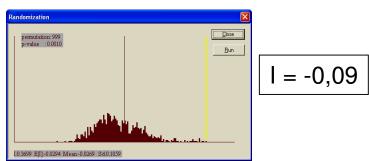
Akaike = 684,4

Diagrama de espalhamento de Moran para os resíduos da regressão







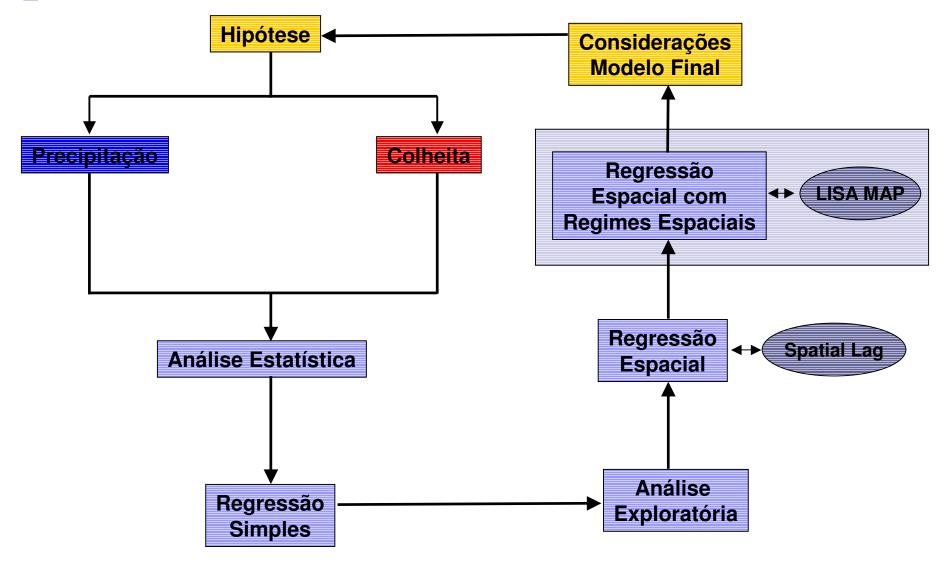




CONSIDERAÇÕES

- Correlação espacial foi considerada na regressão com efeitos espaciais globais.
- No entanto, os dados em estudo não são estacionários, apresentando padrões espaciais.
- Uso de modelos espaciais com efeitos locais.





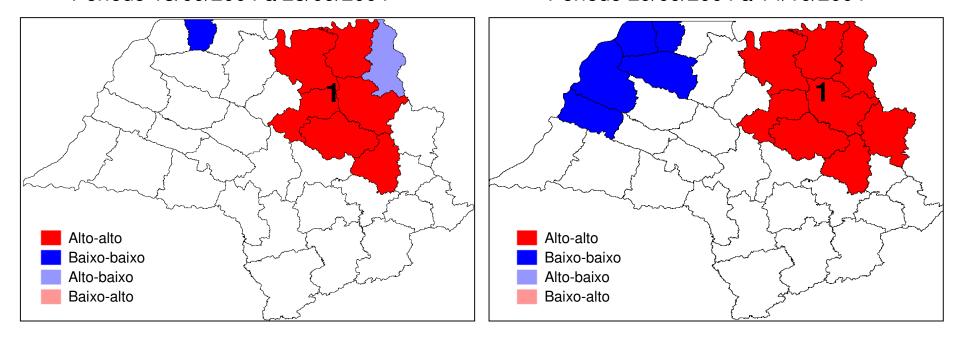


MODELO COM REGIMES ESPACIAIS

Determinação dos Regimes Espaciais → LISA MAP

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

Período 29/09/2004 a 14/10/2004



Considerados 2 regimes espaciais:

- região de maior produção de cana (vermelho)
- restante do estado

MODELOS COM REGIMES ESPACIAIS

- Regiões: cada uma com seu próprio padrão espacial.
- As regressões separadas para cada uma das regiões.
- Uso de variáveis indicadoras

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 R_1 + \beta_3 R_1 X + \varepsilon$$

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \text{ (ind = 0)}$$

 $Y_2 = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_3) X + \epsilon \text{ (ind = 1)}$

onde

 β_i = parâmetros da regressão;

X = variável independente;

 R_1 = variável indicadora (0 ou 1);

ε = erro aleatório



MODELO COM REGIMES ESPACIAIS

Período 13/09/2004 a 28/09/2004

Período 29/09/2004 a 14/10/2004

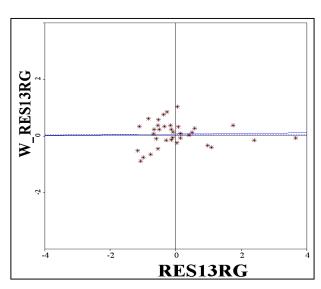
$$R^2 = 0,572$$

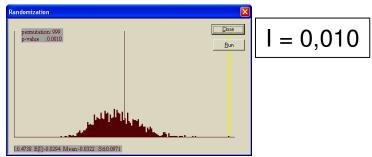
Akaike = 753,4

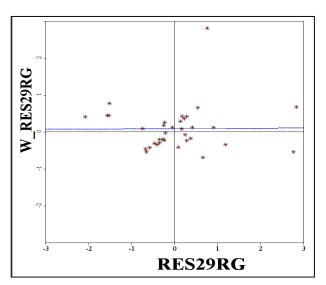
$$R^2 = 0.947$$

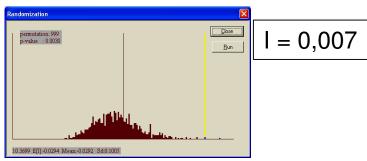
Akaike = 609,9

Diagrama de espalhamento de Moran para os resíduos da regressão

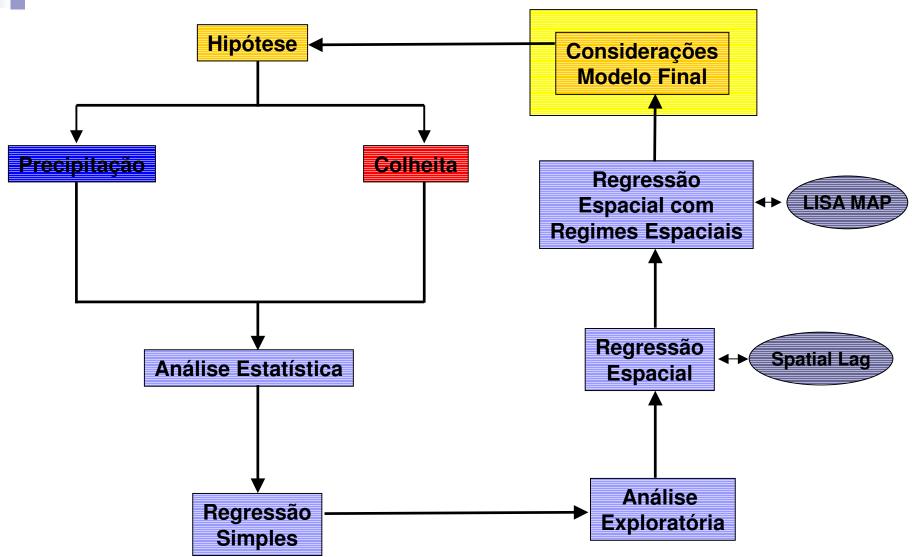












RESULTADOS GERAIS

Período 13/09 a 28/09/2004				
	Reg. Clássica	Reg. Espacial Global	Reg. Regimes	
R ²	0,11	0,33	0,57	
Akaike	776,9	769,5	753,4	
Moran	0,36	0,02	0,01	

Período 29/09 a 14/10/2004				
	Reg. Clássica	Reg. Espacial Global	Reg. Regimes	
R ²	0,10	0,60	0,947	
Akaike	707,6	684,4	609,96	
Moran	0,67	-0,09	0,07	

Modelo com Regimes Espaciais			
13/09 a 28/09	colheita = 11837,94 – 471,21 * precipitação (outro) colheita = 35451,52 – 471 * precipitação (regime 1)		
29/09 a 14/10	colheita = 2701 – 12,426 * precipitação (outro) colheita = 14728 – 12,75 * precipitação (regime 1)		



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Foi possível verificar que houve correlação entre a precipitação e a colheita nos períodos analisados.
- A correlação é espacial
- O modelo que melhor descreveu a correlação da precipitação com a colheita foi o modelo com regimes espaciais.



