

O modelo autológico espaço-temporal para dados de doenças em plantas

54° RBRAS e 13° SEAGRO
27 a 31 de Julho de 2009 - São Carlos/SP

Autores: Luziane Franciscón - Embrapa Florestas
Paulo Justiniano Ribeiro Jr - LEG, UFPR
Elias Teixeira Krainski - LEG, UFPR

Resumo- O interesse é de modelar a probabilidade de ocorrência de uma nova infecção por leprose dos citros dado o estado das plantas vizinhas no mesmo tempo e no tempo defasado, além da incidência de ácaro na planta observada. Espera-se construir modelos autológicos espaço-temporais adequados com fatores que descrevam a dinâmica da doença e que, venham a auxiliar nas práticas de controle. Os resultados mostraram clara evidência do padrão espacial da doença, permitindo quantificar a pressão de infecção como função do estado da doença em plantas vizinhas. A partir dos modelos ajustados é possível quantificar a probabilidade de uma planta não infectada passar a mostrar sintomas da doença, dado a presença do ácaro vetor e o estado de sanidade das plantas vizinhas, no espaço ou no tempo. A incidência da leprose dos citros em plantas vizinhas tanto dentro da linha de plantio quanto entre as linhas aumenta a chance das plantas apresentarem sintomas da doença.

Introdução: Dados binários com dependência espacial são comumente encontrados em estudos da área agrícola. Um exemplo são dados de incidência de doenças em plantas dentro de um talhão. Doenças em pomares cítricos causam grande prejuízo na produção, com destaque para as viroses, como a leprose dos citros. Essa doença pode causar a erradicação de talhões inteiros de citros, comprometendo a quantidade e a qualidade das frutas cítricas. A busca de alternativas para controlar a leprose leva a estudo de estrutura espacial da doença e possível descrição da dinâmica da doença.

O modelo autológico é flexível para descrever a incidência de doenças em plantas, considerando o estado da planta como resposta binária e incorporando a dependência espacial através de covariáveis de vizinhança. O interesse aqui é de modelar a probabilidade de ocorrência de uma nova infecção por leprose dos citros dado o estado das plantas vizinhas no mesmo tempo e no tempo defasado, além da incidência de ácaro vetor na planta observada.

Metodologia: O conjunto de dados analisado nesse estudo consiste de incidência de leprose dos citros, em um talhão da variedade 'Valência' sobre limoeiro cravo, localizado no município de Santa Cruz do Rio Pardo/SP (22°53'56" S, 49°37'58" O). O talhão possui 20 linhas de plantas com 58 plantas em cada linha. O espaçamento entre linhas é de 7,5 metros e entre plantas na linha é de 3,8 metros. Foram analisadas 23 avaliações entre os períodos de junho de 2003 e novembro de 2004. Foram coletadas informações das incidências de doença e de ácaro em cada planta do talhão codificadas em 0 para ausência do evento e 1 para presença evento. Foi registrado também o número de ácaros em amostras de folhas e ramos de cada planta. No trabalho foram consideradas como resposta, em cada tempo, somente as plantas que não estavam infectadas no instante anterior, ou seja, foi modelada a probabilidade de ocorrência de uma nova infecção, por meio da seguinte equação:

$$P(Y_{ijt} = 1 | x_{ijt}, y_{ijt}) = \frac{\Delta_i \exp(\eta_{ijt})}{1 + \Delta_i \exp(\eta_{ijt})}$$

O método de estimação dos parâmetros usado foi o de pseudo-verossimilhança. Entretanto, os erros-padrão desses estimadores são inválidos em razão da reutilização dos dados, na construção das covariáveis. A alternativa é usar um procedimento *bootstrap* utilizando o amostrador de Gibbs para manter o padrão espacial dos dados na re-amostragem. Diferentes modelos autológicos espaço-temporais para a probabilidade de doença nas plantas foram avaliados (Tabela 1).

Tabela 1. Equações dos modelos autológicos espaço-temporais propostos para o ajuste dos dados binários de incidência de leprose dos citros.

Modelos	Equações
M1	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)}$
M2	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)}$
M3	$\beta_0 + \beta_1 X_{ijt}$
M4	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 X_{ijt}$
M5	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 X_{ijt}$

As análises foram implementadas no ambiente estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009), utilizando o pacote *stLattice* (Krainski & Ribeiro Jr, 2008).

Resultados:

A incidência de leprose foi de 0,1%, na primeira avaliação realizada, e atingiu 32,76%, na última avaliação. As estimativas dos parâmetros e a correspondente significância, bem como os valores dos AIC associados a cada modelo ajustado, são mostrados na Tabela 2. Foram obtidas estimativas significativas dos coeficientes nos modelos ajustados, o que indica que foi detectado padrão espacial na ocorrência de novos casos da doença.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros e significância para os modelos ajustados aos dados de incidência de leprose dos citros.

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\lambda}_1$	$\hat{\lambda}_2$	$\hat{\beta}_1$	AIC
M1	-4,3744**	1,2305**	0,6336**	-	3535,76
M2	-4,4746**	1,5493**	0,6166**	-	3223,65
M3	-3,9571**	-	-	0,5693**	3922,80
M4	-4,4101**	1,2188**	0,6169**	0,1755	3535,46
M5	-4,7057**	1,5490**	0,6099**	0,0849	3225,13

** significativos a 1% de probabilidade.

Ao se fazer a comparação dos valores de AIC dos modelos M3 com M4 e M5, na Tabela 2, observa-se que os modelos que incluem o estado da doença em plantas vizinhas possuem melhor ajuste. Nos modelos que incluíram covariáveis de vizinhança, tanto o efeito de plantas infectadas na linha de plantio quanto entre as linhas se mostraram significativos.

Por meio dos coeficientes dos modelos ajustados pôde-se calcular, pela equação (1), a probabilidade da planta estar doente dado o estado das plantas vizinhas na avaliação anterior. A Tabela 3 mostra as probabilidades para o modelo M4, neste caso a incidência de ácaro não é tão significativa. Nota-se que se todas as vizinhas estão doentes, a presença de ácaro altera a probabilidade de 39,84% para 41,89%.

Tabela 3: Probabilidades da planta apresentar leprose dado o número de vizinhas doentes através do modelo M4

Sem incidência de ácaro	Com incidência de ácaro						
	Mesma Linha			Mesma Linha			
Entre Linhas	0	1	2	Entre Linhas	0	1	2
0	0,88	4,00	16,36	0	0,96	4,34	17,55
1	1,61	7,13	26,46	1	1,75	7,71	28,15
2	2,93	12,38	39,84	2	3,18	13,33	41,89

Conclusão:

A análise dos dados mostrou clara evidência do padrão espacial da doença, permitindo quantificar a pressão de infecção como função do estado da doença em plantas vizinhas.

A partir dos modelos ajustados é possível quantificar a probabilidade de uma planta não infectada passar a mostrar sintomas da doença, dado o estado de sanidade das plantas vizinhas, no espaço ou no tempo. A incidência da leprose dos citros em plantas vizinhas tanto dentro da linha de plantio quanto entre as linhas aumenta a chance das plantas apresentarem sintomas da doença.

A metodologia apresentada aqui é geral e pode ser usada na avaliação de padrões espaço-temporais e efeitos de fatores que afetem doenças de plantas em condições semelhantes e não apenas na cultura de citros.

Referências

- BESAG, J. Nearest-neighbour systems and the auto-logistic model for binary data. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, v. 34, p.75-83, 1972.
- BESAG, J. Statistical analysis of non-lattice data. *The Statistician*, v.24, p.179-195, 1975.
- GUMPERTZ, M.L.; GRAHAM, J.M.; RISTAINO, J.B. Autologistic model of spatial pattern of *Phytophthora* epidemic in bell pepper: effects of soil variables on disease presence. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, v.2, p.131-156, 1997.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JR, P.J.; Um pacote para modelos autológicos. 2008. Disponível em <...>. Acesso em: 18 jan. 2008.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JR, P.J.; BASSANEZI, R.B.; FRANCISCON, L. Autologistic model with an application to the citrus sudden death disease. *Scientia Agricola*, v.65, p. 447-565, 2008.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2008. Disponível em <...>. Acesso em: 13 jan. 2008.