

Modelo autológico espaço-temporal com aplicação à análise de leprose dos citros

Luziane Franciscan⁽¹⁾, Paulo Justiniano Ribeiro Júnior⁽²⁾, Elias Teixeira Krainski⁽²⁾,

Renato Beozzo Bassanezi⁽³⁾ e Ana Beatriz Costa Czermainski⁽⁴⁾

⁽¹⁾Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC. E-mail: luziane@cnpa.embrapa.br

⁽²⁾Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Estatística e Geoinformação, Caixa Postal 19.081, CEP 81531-990, Curitiba, PR. E-mail: paulojus@ufpr.br, elias@leg.ufpr.br

⁽³⁾Fundecitrus, Depto. Científico, Caixa Postal 391, CEP 14801-970 Araraquara, SP. E-mail: rbbassanezi@fundecitrus.com.br

⁽⁴⁾Embrapa Uva e Vinho, Caixa Postal 130, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, RS. E-mail: ana@cnpuv.embrapa.br

Resumo – Este trabalho propõe estratégias de modelagem aplicadas a dados de incidência de leprose dos citros utilizando um modelo autológico espaço-temporal. Objetivos incluem a adequação do modelo autológico para considerar dados provenientes de avaliações feitas em diferentes momentos, detectar padrões espaciais da doença avaliando diferentes estruturas de vizinhança, considerar o efeito defasado de covariáveis de vizinhança e ainda avaliar o efeito da ácaro transmissor na probabilidade de nova infecção. O modelo autológico espaço-temporal estende o modelo logístico usual, onde a estrutura de vizinhança é descrita através da construção de covariáveis a partir da resposta observada em plantas vizinhas à planta avaliada, seja na mesma avaliação ou em avaliações anteriores. Os dados de incidência de leprose em plantas de citros foram coletados em pontos referenciados no espaço em 23 avaliações realizadas em um talhão durante um período de aproximadamente dois anos. Os modelos avaliados apontam a presença de padrão espacial na ocorrência de novas infecções tanto em vizinhanças na mesma avaliação quanto na avaliação anterior e o efeito da presença do vetor. Além disso, os modelos considerados permitiram quantificar as variações na

probabilidade de ocorrência da doença em função do estado da doença e da incidência do ácaro transmissor.

Termos para indexação: modelo autológico, *Citrus sinensis*, *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, estatística espacial, pseudo-verossimilhança.

Spatio temporal autologistic model with an application to the analysis of citrus leprosis

Abstract - This work presents modeling strategies applied to the analysis of citrus leprosis data by means of an spatial temporal autologistic model. The goals include the tailoring of the autologistic model to consider data collected at different times, to detect spatial-temporal patterns through different neighbouring structures, to consider the effect of covariates from previous times and to assess the effect of the presence of the vector of the disease in the probability of new infections. The spatial temporal autologistic model extends the usual logistic model by means of covariates built from the status of plants nearby at the same or previous time representing the neighboring structures. Data on the presence of the leprosis on plants were collected on a field at 23 time points covering a period of approximately two years. Models detect the presence of spatial patterns on new infections for both neighbour structures, at the same or previous time. Additionally estimates of the probability of a plant become infected can be obtained from the fitted models given the occurrence of the disease and vector.

Index terms: autologistic model, *Citrus sinensis*, *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, spatial statistics, pseudo-likelihood.

Introdução

Experimentos cujas variáveis respostas são binárias são comuns nas diversas áreas do conhecimento, inclusive na área agrícola onde dados de doenças em plantas frequentemente registram a presença/ausência de sintomas da doença em cada planta. É possível ainda registrar a posição das plantas dentro da área o que permite verificar a presença de estrutura espacial na presença da doença. Neste caso, o pressuposto de independência entre as observações não é adequado e a presença de sintomas da doença em determinada planta está associada à presença da doença em plantas vizinhas, podendo ainda ser associada à presença do vetor em instantes anteriores de tempo, no caso do patógeno ser transmitido por um vetor. Investigar a presença de estrutura espacial é um dos objetivos de tais estudos e estratégias de modelagem devem portanto incluir explicitamente elementos que permitam identificar tais estruturas.

O modelo autológico (Besag, 1972) é uma proposta para descrever a incidência de doenças em plantas, considerando o estado da planta, como resposta binária, e incorporando a dependência espacial, ou autocorrelação espacial, a partir do estado da doença em plantas vizinhas (Krainski et al., 2008). A escolha da configuração de plantas vizinhas a ser utilizadas define a estrutura de vizinhança. O modelo autológico estende o modelo logístico usual, pertencente à família dos modelos lineares generalizados (McCullagh & Nelder, 1989; Demétrio & Cordeiro, 2007) construindo covariáveis a partir da resposta observada na vizinhança de cada planta, utilizando a configuração espacial dos dados.

Os dados de incidência de doenças em plantas cítricas podem ser coletados em inspeções periódicas dos pomares, o que exige extensões temporais de modelos espaciais tais como o modelo autológico. Krainski et al. (2008) ajustam modelos autológicos para incidência de morte súbita em citros de forma a analisar a presença da doença em plantas vizinhas no tempo contemporâneo à avaliação, no tempo anterior e um modelo com ambos os

tempos. Czermainski (2006) ajustou modelos para dados de leprose de citros observando a influência das covariáveis de vizinhança defasadas no tempo. Em ambos estudos foi ajustado um modelo para cada uma das avaliações. A construção de um modelo único que incorporasse os dados de todas as avaliações pode trazer mais informações sobre os patossistemas estudados.

Entre os fatores que limitam a produtividade da citricultura brasileira e aumentam seus custos de produção destaca-se a presença de diversas doenças nos pomares produtores, com destaque para as viroses, como a leprose dos citros (Marques et al., 2007). Causada pelo *Citrus leprosis virus* (CiLV), é uma doença endêmica nas regiões produtoras do Estado de São Paulo e reduz a produção e o período de vida útil das plantas afetadas (Rodrigues, 2000). Como o CiLV não é sistêmico e não é naturalmente transmitido por material propagativo infectado e nem mecanicamente, a dispersão da doença no campo ocorre exclusivamente pela alimentação e circulação do ácaro *Brevipalpus phoenicis* na planta e entre as plantas afetadas (Rodrigues, 2000). O estudo da relação espacial e temporal da associação entre a incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* da incidência de leprose dos citros, pode trazer estimativas mais precisas sobre o crescimento da epidemia, no tempo e no espaço (Czermainski, 2006). O conhecimento dos padrões no tempo e no espaço da incidência da doença e do ácaro transmissor auxilia a descrição da dinâmica da doença, levanta ou avalia hipóteses biológicas sobre mecanismos de propagação e orienta na proposição de métodos para controle da epidemia focados na presença da doença e não somente na presença do vetor (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

O objetivo deste trabalho é propor estratégias de análise utilizando um modelo autológico espaço-temporal que combine dados de todas as avaliações. O modelo proposto é aplicado a dados de incidência de leprose dos citros. Os resultados das análises são utilizados para avaliar evidências quanto a presença de padrão espacial, identificação de estrutura de

vizinhança espacial e temporal, bem como avaliar a contribuição dos dados de incidência do vetor da doença. A metodologia proposta pode ser aplicada no estudo de padrões espaço-temporais e efeitos de fatores que afetem doenças de plantas em condições análogas.

Material e Métodos

Para a construção do modelo autológico espaço temporal foram analisados dados de incidência de leprose dos citros, em um talhão de laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro cravo, plantado em 1996 e localizado no município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP (22° 53' 56" S , 49° 37' 58" O). O talhão apresentava 20 linhas de plantas, com 58 plantas em cada linha. O espaçamento entre linhas era de 7,5 metros e, entre plantas, na linha, de 3,8 metros. Dados foram coletados em 23 avaliações, em intervalos de aproximadamente 22 dias entre os períodos de junho de 2003 e novembro de 2004. Nesse período não foram realizadas pulverizações com acaricidas no talhão, de modo a não afetar a população de ácaro da leprose.

Em cada avaliação foram coletadas informações sobre os sintomas da doença e a presença do ácaro transmissor em cada planta do talhão. A avaliação dos sintomas da doença foi feita pela contagem de frutos, ramos e folhas com sintomas de leprose, observados 25 frutos, 25 folhas e 25 ramos por quadrante do dossel, amostrados a esmo, totalizando 100 unidades de observação por tipo de estrutura por planta. O número de ácaros da leprose em todas as plantas foi obtido pela observação em cinco frutos internos da florada principal e cinco ramos externos da copa. A partir dos registros de infestação de ácaros e de infecção, foram obtidas as incidências codificadas em 0, para ausência do evento presença de ácaro ou sintoma, e 1, para presença do evento. Também foi registrado o número de ácaros na planta.

Para a análise foram adotados modelos autológicos espaço-temporais com diferentes escolhas de covariáveis, incorporando a dependência espacial da incidência da leprose dos

citros. Os modelos testados incluem, não apenas a presença da doença em plantas vizinhas no mesmo instante de tempo, como também em instantes anteriores. Considerou-se ainda a inclusão de termos que refletem a presença da doença e a simples presença ou o número de ácaros observados em avaliações anteriores. O modelo autologístico espaço-temporal permite descrever de forma conjunta o comportamento da doença monitorada por dois anos no talhão estudado.

Krainski et. al. (2008) descreve o modelo autologístico aplicado a um único instante de tempo. Tal modelo é expandido neste artigo permitindo estimar a probabilidade de determinada planta na i -ésima linha e j -ésima coluna estar doente como combinação linear do estado da doença (doente/sadia) nas plantas vizinhas além de outras possíveis covariáveis. Uma outra diferença é que neste artigo foi considerado como resposta, em cada tempo, somente as plantas que não estavam infectadas no instante anterior, ou seja, foi modelado a probabilidade de uma nova infecção que é dada por:

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

em que, $\eta_{ijt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^r \beta_k x_{ijk} + \sum_{m=1}^s \lambda_m y_{ijtm}$; x_{ijk} representa as covariáveis usuais associadas à planta na i -ésima linha e j -ésima coluna; y_{ijtm} representa as covariáveis de vizinhança da ij -ésima planta no tempo t ; os β 's são parâmetros usuais de regressão de ordem k ; λ 's são parâmetros que quantificam a autocorrelação espacial da estrutura de vizinhança de ordem m e Δ_t são os intervalos de tempo entre avaliações, como *offset* modelo (Besag, 1972).

As estruturas de vizinhança consideram o efeito de plantas vizinhas com a doença nas linhas e entre as linhas de plantas separadamente (He et al., 2003), devido aos diferentes espaçamentos no plantio, através das covariáveis $Y_{1ijt} = (y_{i-1,j,t} + y_{i+1,j,t})$, $Y_{2ijt} = (y_{i,j-1,t} + y_{i,j+1,t})$.

O método de estimação dos parâmetros usado foi o de pseudo-verossimilhança (Besag, 1975), definida como o conjunto de valores que maximiza o logaritmo da função de pseudo-verossimilhança (Viola et al., 2008).

$$l(p_i) = \sum_{i=1}^n y_i \log(p_i) + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \log(1 - p_i) .$$

Entretanto, os erros-padrão desses estimadores são inválidos devido a reutilização dos dados na construção das covariáveis. Gumpertz et al. (1997) sugerem um procedimento *bootstrap* utilizando o amostrador de Gibbs para manter o padrão espacial dos dados na reamostragem. Krainski et al. (2008) descrevem um algoritmo implementado pelos autores que permite a obtenção das estimativas e erros padrão por reamostragem.

As equações dos diferentes modelos considerados são apresentadas na Tabela 1. Os modelos apresentam covariáveis usuais x_{ijk} refletindo presença do ácaro transmissor em cada planta na i -ésima linha e j -ésima coluna. Considerou-se duas formas para tal covariável, a simples presença ou ausência do ácaro na planta defasada uma avaliação ($t-1$) denotado por x_{ij1} ou o número de ácaros na planta defasada denotado por x_{ij2} . As covariáveis de vizinhança consideradas foram: dentro da linha de plantas, entre linhas de plantas e a mesma planta no tempo anterior.

A primeira proposta é de modelar os dados de uma avaliação t , considerando covariáveis de vizinhança dentro da linha e entre linhas de plantas no período de tempo anterior $t-1$. Esse modelo (M1) permite verificar se o estado da doença na planta pode estar determinado pela condição dela mesma no tempo anterior além de refletir o contágio da doença pela vizinhança do passado.

O segundo modelo (M2) considera as mesmas covariáveis de vizinhança do modelo M1, porém na mesma avaliação. Esse modelo reflete um contágio por fontes adicionais que não foram capturadas no M1, talvez por outros aspectos que não só a influência das plantas vizinhas doentes na avaliação anterior.

A incidência de ácaro defasado na planta, pode influenciar a probabilidade da planta apresentar a doença. A fim de avaliar e quantificar este efeito, uma covariável foi construída a partir da ocorrência do ácaro e acrescentada aos modelos anteriores, definindo-se três novos

modelos - M3, M4 e M5 sendo que M3 não considera covariáveis de vizinhança e M4 e M5 as consideram como em M1 e M2, respectivamente. Avaliou-se ainda se, o número de ácaros na planta poderia explicar melhor a probabilidade de ocorrer leprose ao invés da simples incidência do ácaro, dando origem aos modelos M6, M7 e M8.

Os modelos considerados sugerem, através das covariáveis incluídas, diferentes formas de explicar a dispersão da doença que podem ser avaliadas através da comparação entre seus ajustes avaliada pelo valor da verossimilhança maximizada. Modelos são também comparados pelo critério de informação de Akaike (AIC) segundo o qual o melhor modelo é aquele que apresenta o menor valor. O AIC é dado por $2 \cdot \log(L(\hat{\lambda}, y)) + 2k$ em que a verossimilhança maximizada é penalizada por k , o número de parâmetros incluídos no modelo.

Todos os procedimentos foram executados em ambiente de *software* livre. As análises foram implementados no ambiente estatístico R (2008), utilizando o pacote *stLattice* (Krainski & Ribeiro Jr, 2008). Os dados e códigos estão disponibilizados na página de *paper companions* do LEG/UFPR, <http://www.leg.ufpr.br/papercompanions>.

Resultados e Discussão

A incidência de leprose foi de 0,1% na primeira avaliação até atingir 32,76% na última avaliação realizada. A estrutura espaço-temporal dos dados permite combinar um estudo de padrões, associações de dependência espacial e de tempo de contágio da doença entre plantas.

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 em todos os modelos ajustados, o que confirma a existência de padrão espacial da doença. A significância dos modelos M1 e M2 e a comparação

dos modelos M3 com M4 e M5, e ainda M6 com M7 e M8 mostra que o padrão espacial é detectado e 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 quanto de colunas se mostraram significativos. Espera-se que plantas mais próximas de infectadas sejam mais susceptíveis ao contágio da doença por suas vizinhas doentes, indicando que o movimento do ácaro infectivo ocorre preferencialmente a curtas distâncias.

Os modelos que incluíram a covariável de presença do ácaro apresentaram ajustes apenas ligeiramente superior aos correspondentes sem a covariável do vetor como mostram as comparações de M4 com M1, M7 com M1, M5 com M2 e M8 com M2. Este resultado confirma que a presença do ácaro aumenta a probabilidade da doença, quantificando o efeito da mobilidade desse vetor. Os modelos M4 e M5 mostraram ajustes superiores aos correspondentes M7 e M8 indicando que o uso do número de ácaros não melhora o ajuste em comparação à simples anotação de presença ou ausência. Portanto, considerar o número de ácaros por planta não implicou em vantagens no ajustamento em relação à incidência binária (presença/ausência) do ácaro na planta. Na prática, para a estimativa do nível de controle do ácaro da leprose bastaria apenas quantificar a proporção de órgãos das plantas avaliadas com a presença do ácaro sem a necessidade contagem do número de ácaros por órgão.

A comparação de M1 com M2, M5 com M4 e M8 com M7 mostra que os modelos com covariáveis de estrutura de vizinhança na mesma avaliação mostram melhor ajuste do que as construídas com observações da avaliação anterior. Entretanto, ressalte-se que no segundo caso as covariáveis de vizinhança permanecem significativas o que é interessante na prática por permitir antecipar resultados de um próximo instante de tempo. Portanto covariáveis na mesma avaliação apresentam melhor capacidade descritiva, enquanto que na avaliação anterior conferem poder preditivo ao modelo.

Através dos coeficientes dos modelos ajustados pode-se calcular através da equação (1) a probabilidade da planta estar doente dado o estado das plantas vizinhas e da planta apresentar ou não incidência do ácaro na avaliação anterior. Os resultados desses cálculos mostram que a probabilidade da planta apresentar a doença dado que as duas plantas na linha e as duas plantas entre linhas estão doentes, além da planta ter incidência de ácaro na avaliação anterior é de 0,107. Por outro lado a probabilidade da planta apresentar a doença dado que as duas plantas na linha e entre linhas de plantas estão doentes e que a planta não apresentou incidência de ácaro na avaliação anterior é de 0,062. Logo, em um período de tempo de aproximadamente 22 dias, intervalo aproximado entre as avaliações, uma planta sadia tem duas vezes mais chance de adquirir o vírus se estiver hospedando o ácaro vetor, dado que as duas plantas vizinhas na linha e as duas entre linhas de plantas estão doentes. Quando o interesse é apenas de observar a influência do estado das plantas vizinhas sem considerar a presença do ácaro, os cálculos das probabilidades mostram que uma planta sadia tem probabilidade de 0,011 de apresentar leprose se uma vizinha na linha e outra vizinha entre as linhas de planta estiver doente. Quando há duas plantas vizinhas dentro da linha doentes a probabilidade da planta apresentar doença é maior, se comparado com duas plantas doentes entre as linhas, 0,030 e 0,028, respectivamente. Isso pode estar refletindo o espaçamento entre as plantas, que nesse caso é menor dentro da linha de plantas.

O modelo autológico descreve de forma explícita o padrão espacial de doenças em plantas, detectando a existência de padrões e quantificando o efeito da presença da doença em diferentes estruturas de vizinhança na probabilidade de uma planta tornar-se doente. Encontrar a probabilidade da planta estar doente dado o estado das plantas na vizinhança contribui na compreensão da dinâmica da doença. Um fato interessante dos modelos autológicos espaço-temporais considerados no trabalho é de tratar conjuntamente dados provenientes de diversas avaliações ao longo do tempo e considerar vizinhanças no espaço e

no tempo, bem como a relação entre a presença do vetor e a probabilidade de ocorrência da doença.

A metodologia apresentada aqui não é restrita à análise dados de leprose dos citros, podendo ser usada na avaliação de padrões espaço-temporais e efeitos de fatores que afetem doenças de plantas em condições análogas de configuração espacial e disponibilidade de dados.

Conclusões

1. Os modelos autologísticos espaço-temporais propostos para análise dos dados de leprose tratam conjuntamente dados provenientes de diversas avaliações ao longo do tempo e consideram vizinhanças no espaço e no tempo, bem como a relação entre a presença do vetor e a probabilidade de ocorrência da doença.
2. 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.
3. A partir dos modelos ajustados é possível quantificar a probabilidade de doença em uma particular planta dado o estado de sanidade das plantas vizinhas ou da mesma planta no espaço e/ou no tempo bem como do estado de presença do ácaro vetor.
4. A incidência do ácaro vetor, aumenta a chance de apresentar sintomas da doença, indicando que esta informação adicional contribui para uma melhor descrição das chances das plantas apresentarem sintomas.

Agradecimentos

À Fapesp pelo suporte financeiro para a obtenção dos dados de campo (processo 01/022066-1) e ao Fundecitrus pela concessão dos dados. Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor no Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Referências

BASSANEZI, R.B.; LARANJEIRA, F.F. Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. **Plant Pathology**, v.56, p.97-106, 2007.

BESAG, J. Nearest-neighbour systems and the auto-logistic model for binary data. **Journal of the Royal Statistics 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.

CZERMAISNKI, A.B.C. **Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose dos citros em condições naturais de epidemia**. 2006. 91p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DEMÉTRIO, C.G.B.; CORDEIRO, G.M. Modelos lineares genrelizados. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 12., 2007, Santa Maria. **Minicurso**. Maria: UFSM, 2007. 159p.

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.

HE, F.; ZHOU, J.; ZHU, H. Autologistic regression model for the distribution of vegetation. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v.8, p.205-222, 2003.

KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JR, P.J.; **Um pacote para modelos autologísticos**. 2008. Disponível em <<http://www.leg.ufpr.br/~elias/stLattice/>>. 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.

MARQUES, J.P.R.; FREITAS-ASTÚA J.; KITAJIMA, E.W.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Lesões foliares e de ramos de laranja-doce causadas pela leprose-dos-citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1531-1536, 2007.

McCULLAGH, P.; NELDER, J.A. **Generalized linear models**. 2.ed. London: Chapman and Hall, 1989. 511p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2008. Disponível em <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

RODRIGUES, J.C.V.; **Relações patógeno-vetor-planta no sistema leprose dos citros**. 2000. 168p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIOLA, D. N.; DEMÉTRIO, C. G. B.; RIBEIRO JR, P. J.; MANLY, B. F. Uma avaliação do estimador de pseudo-verossimilhança para modelos autologísticos espaciais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 26, p. 61-68, 2008.

Tabela 1. Equações dos modelos autologísticos espaço-temporais propostos para o ajuste dos

dados binários de incidência de leprose dos citros.

Modelos	Equações
M1	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)}$
M2	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)}$
M3	$\beta_0 + \beta_1 x_{ij1}$
M4	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 x_{ij1}$
M5	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 x_{ij1}$
M6	$\beta_0 + \beta_1 x_{ij2}$
M7	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 x_{ij2}$
M8	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{1(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 x_{ij2}$

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

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\lambda}_0$	$\hat{\lambda}_1$	$\hat{\lambda}_2$	AIC
M1	-6,3426**	-	-	0,6865**	0,8534**	501,6504
M2	-6,5996**	-	-	1,0569**	1,0130**	477,6424
M3	-6,1755**	0,8944*	-	-	-	513,6315
M4	-6,4546**	0,5971	-	0,6287**	0,7975**	501,1455
M5	-6,7175**	0,5867	-	1,0283**	0,9764**	477,1578
M6	-5,927**	-0,0300	-	-	-	518,6097
M7	-6,2980**	-0,0553	-	0,7246**	0,8969**	501,3734
M8	-6,5503**	-0,0558	-	1,0781**	1,0507**	477,0497

**significativos a 1% de probabilidade.