

Aplicação dos modelos lineares generalizados para avaliação do efeito da termoterapia na germinação e sanidade de sementes de tomate

Simone Silmara Werner Gurgel do Amaral - LCE, ESALQ/USP¹

Márcia Provinzano Braga - LPV, ESALQ/USP²

Ricardo Alves de Olinda - LCE, ESALQ/USP³

Clarice Garcia Borges Demétrio - LCE, ESALQ/USP⁴

INTRODUÇÃO

A informação sobre a qualidade de sementes da cultura do tomateiro abrange um conjunto de características que determina seu valor para a semeadura, de modo que o potencial de desempenho das sementes somente pode ser identificado de maneira consistente, quando é considerada a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e a sanidade (MARCOS FILHO, 2005).

Nesse sentido, a importância do controle de doenças transmitidas por sementes consiste, principalmente, na necessidade de se conter a transmissão a longa distância e, também, preservar a sanidade do material utilizado para multiplicação na mesma região. O emprego de agroquímicos tem sido a forma mais comum utilizada no controle de doenças; entretanto, verificam-se algumas desvantagens, principalmente seus possíveis efeitos sobre o meio ambiente e a resistência desenvolvida pelos microrganismos a determinados compostos.

Além dos métodos químicos, o tratamento de sementes pode ser praticado utilizando-se métodos físicos, biológicos ou a combinações entre eles. Dentre estes, a termoterapia é um dos mais eficientes, pois possui ação erradicante de infecções profundas e não polui o meio ambiente. Entretanto, não confere proteção residual após o tratamento, além de ter o risco de provocar danos à semente, deteriorando mais rapidamente no período de armazenamento em comparação às não tratadas (COUTINHO et al., 2007). A eficácia da termoterapia pode ser avaliada por meio de testes de sanidade e testes de viabilidade e vigor.

Uma das formas de se avaliar a viabilidade das sementes é utilizando testes de germinação, nos quais a variável resposta é a proporção de plantas germinadas. Para avaliar a sanidade pode-se utilizar a proporção de fungos incidentes nas sementes.

¹Doutorando em Estatística e Experimentação Agronômica: sswerner@esalq.usp.br

²Pós graduanda do Departamento de Produção Vegetal: agro_mpb@hotmail.com

³Doutorando em Estatística e Experimentação Agronômica: ricardoestatistico@usp.br

⁴Professor Titular da Universidade de São Paulo: clarice@esalq.usp.br

O uso de modelos lineares clássicos, em geral, não é apropriado para analisar dados de proporções, que são muito frequentes na área agrônômica, pois as pressuposições do modelo não são atendidas. Uma alternativa para a análise desse tipo de dados, é a utilização da teoria de modelos lineares generalizados, sendo a distribuição binomial, um caso particular, indicada para essas situações (McCULLAGH e NELDER, 1989; DEMÉTRIO, 2001).

Ao supormos que uma variável aleatória segue uma distribuição binomial de índice m_i e parâmetro π_i , ou seja $Y_i \sim Bin(m_i, \pi_i)$ assumimos que a esperança e a variância são dadas por: $E(Y_i) = \mu_i = m_i\pi_i$ e $Var(Y_i) = m_i\pi_i(1 - \pi_i) = V(\mu_i)$. No entanto tal suposição nem sempre é satisfeita, existindo muitos casos, nos quais a variância observada é superior aquela prevista pela distribuição binomial, sendo esse fato conhecido como superdispersão. Essa superdispersão pode ser acomodada assumindo uma forma mais geral para variância de Y_i , por exemplo: $Var(Y_i) = \phi V_i(\mu_i)$ (HINDE & DEMÉTRIO, 1998). Nesse caso, a estimação pode ser feita a partir do método da máxima quase-verossimilhança.

O presente trabalho objetivou estudar a aplicação de modelos lineares generalizados na análise dos dados de germinação e sanidade de sementes submetidas a termoterapia.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de dois lotes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), cultivar UC-82 foram homogeneizadas e submetidas ao tratamento térmico com água quente com diferentes combinações de período de exposição e temperatura. Os tratamentos das sementes dos lotes 1 e 2 consistiram de 10 combinações entre diferentes temperaturas (52, 53, 54, 55 e 60°C) e períodos de exposição (30 e 60 minutos) e 2 testemunhas: sementes tratadas com produto químico e sementes não tratadas. Os tratamentos térmico e químico foram conduzidos conforme Braga et al. (2010). Após os tratamentos, as sementes foram secadas e avaliadas quanto à germinação e sanidade.

Para o teste de germinação, as sementes foram colocadas em caixas plásticas sobre substrato de papel (mata-borrão) umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco e mantidas a 25°C. As avaliações foram efetuadas aos 14 dias após a semeadura, contando-se o número de plântulas normais. O teste de sanidade (método do papel de filtro com congelamento) consistiu na incubação das sementes a 20°C \pm 2°C, sob regime intermitente de 12 h de luz por 12 h no escuro, com congelamento (LUCCA FILHO, 1987). Após esse período, todas as sementes foram avaliadas para detecção e identificação de fungos.

A variável resposta, Y_i , é a proporção de sementes germinadas, ou proporção de fungos incidentes, e, portanto, a distribuição a ser considerada inicialmente, é a binomial. Como função de ligação adotou-se a função logística, e como parte sistemática tem-se um delineamento in-

teiramente casualizado em esquema fatorial, tendo como fatores lote e tratamentos. O preditor linear, para o modelo maximal, dado por:

$$\eta_i = \text{logit}(\pi_i) = \mu + \alpha_k + \beta_j + (\alpha\beta)_{kj}$$

em que, $i = 1, \dots, n$, μ representa o efeito associado á média geral, α_k o efeito associado ao k -ésimo tratamento, $k = 1; \dots; 12$, β_j o efeito associado ao j -ésimo lote, $j = 1; 2$.

Verificada a superdispersão, incorporou-se um parâmetro de dispersão constante (ϕ), utilizando para estimação o método da máxima quase-verossimilhança (HINDE, DEMÉTRIO, 1998).

O parâmetro de superdispersão, ϕ , foi estimado a partir da estatística de Pearson generalizada, por:

$$\hat{\phi} = \frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - m_i \hat{\pi}_i)^2}{m_i \hat{\pi}_i (1 - \hat{\pi}_i)}$$

Para seleção do modelo, usou-se a estatística F:

$$F = \frac{(D_2 - D_1)/(f_2 - f_1)}{\hat{\phi}} \sim F_{f_2 - f_1, f_3}$$

em que $\hat{\phi}$ é estimado a partir do modelo maximal, com f_3 graus de liberdade, e D_1 e D_2 são valores da estatística desvio para modelos encaixados com $f_1 < f_2$ parâmetros (JØRGENSEN, 1987). Para verificar o ajuste do modelo utilizou-se o gráfico normal de probabilidades com envelope simulado para o resíduo *deviance* (COLLETT, 1991). Todas as análises foram realizadas utilizando o ambiente R: A Language and Environment for Statistical Computing, versão 2.10.1 (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajustando o modelo logístico padrão aos dados de proporções de sementes que germinaram, obteve-se para o desvio residual o valor de 101,91, com 60 graus de liberdade do resíduo, o que mostra evidência de superdispersão. Isso é confirmado pelo gráfico normal de probabilidades conforme mostra a Figura 1 (a).

O modelo logístico com superdispersão constante ($\hat{\phi} = 1,63$) ajustou-se bem aos dados de proporções de sementes que germinaram, conforme mostra o gráfico normal de probabilidades na Figura 1 (b).

Utilizando-se o teste F verificou-se que não há efeito da interação lotes por tratamentos e nem efeito de lotes. Entretanto, há efeito de tratamentos. Para identificar as diferenças significativas foi feito o desdobramento do número de graus de liberdade de tratamentos conforme mostra a Tabela 1, na qual observa-se que houve efeito da interação temperatura por tempo de

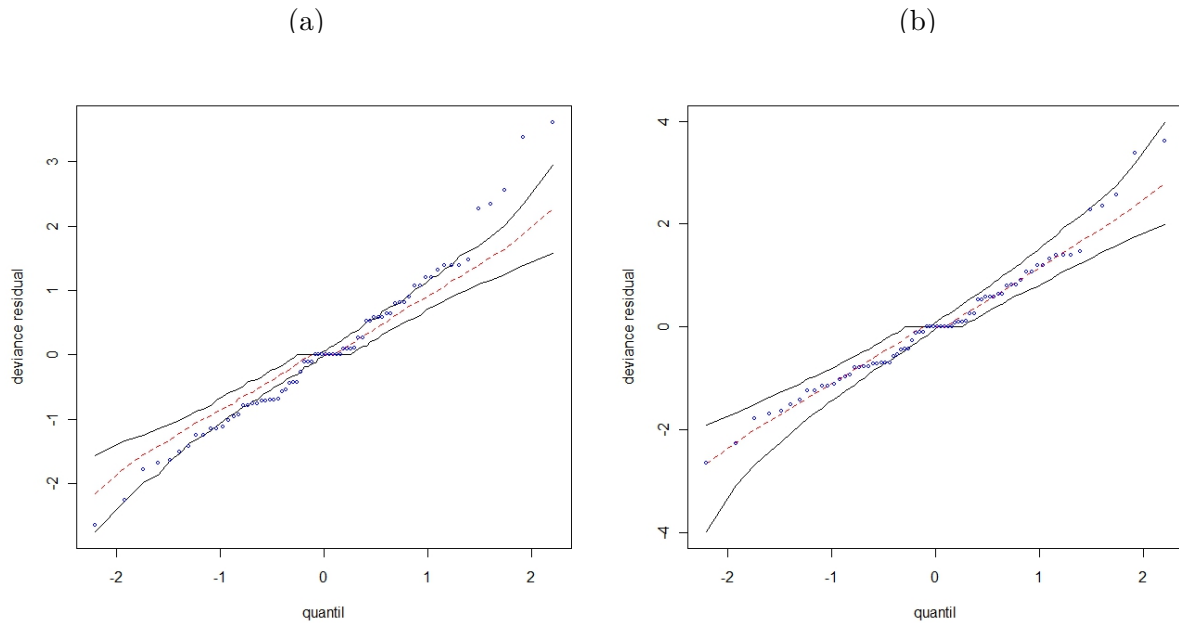


Figura 1: Gráfico normal de probabilidades com envelope simulado para o modelo logístico padrão (a) e para o modelo logístico com superdispersão constante (b)

exposição sobre a germinação de sementes. A testemunha em que empregou-se o tratamento químico diferiu ($p < 0,05$) da testemunha na qual nenhuma substância foi aplicada, com médias de 0,89 e 0,82, respectivamente, o que pode ser explicado pelo fato de a testemunha que recebeu o tratamento químico apresentar menor incidência de fungos que podem ter inibido a germinação das sementes não tratadas.

Tabela 1: Análise de desvio, considerando o modelo logístico com superdispersão constante, para a variável proporção de sementes que germinaram.

Causa de variação	g. l.	desvio	Valor p
Lote	1	2,49	0,24
Tratamento	11	2886,20	<0,01
Entre Testemunhas	1	5,43	0,03
Testemunhas <i>vs</i> Térmicos	1	205,22	<0,01
Entre Temperaturas	4	2510,74	<0,01
Entre Tempos de exposição	1	26,54	<0,01
Interação Temperatura:Tempos	4	138,37	<0,01
Tratamentos*Lote	11	14,48	0,68

Ajustando o modelo logístico padrão aos dados de proporção de fungos incidentes na semente (teste de sanidade), obteve-se para o desvio residual o valor de 407,70, com 72 graus de liberdade, o que mostra evidência de superdispersão. Isso é confirmado pelo gráfico normal de probabilidades conforme mostra a Figura 2 (a).

O modelo logístico com superdispersão constante ($\hat{\phi} = 5,12$) ajustou-se bem aos dados de proporção de fungos incidentes na semente (teste de sanidade), conforme mostra o gráfico normal

de probabilidades na Figura 1 (b).

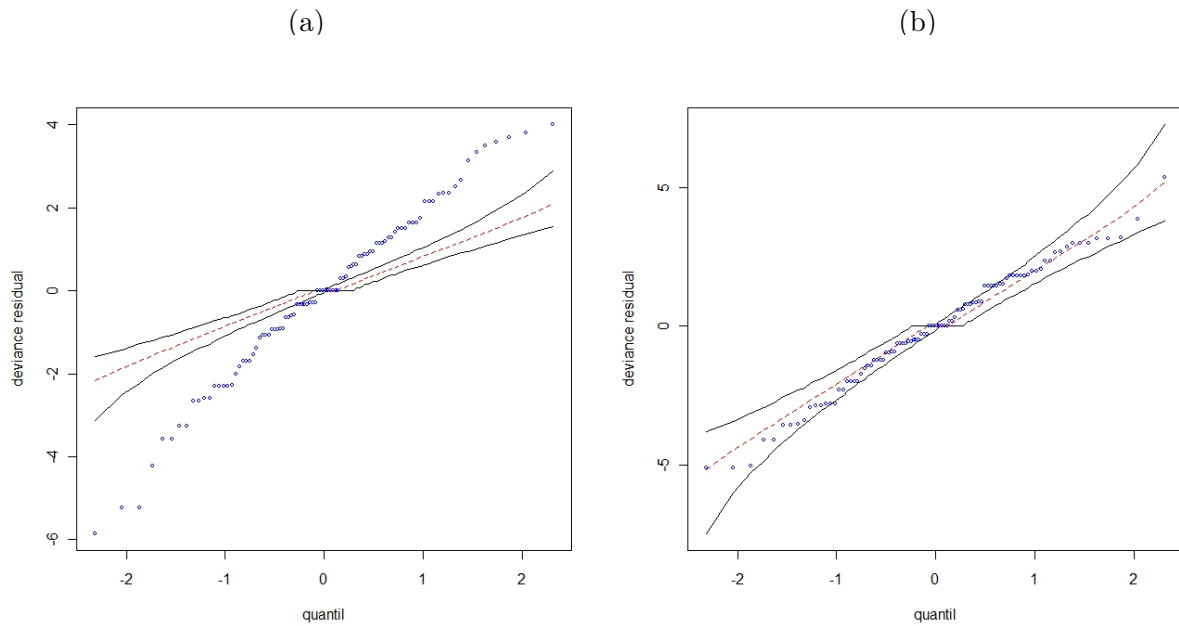


Figura 2: Gráfico normal de probabilidades com envelope simulado para o modelo logístico padrão (a) e para o modelo logístico com superdispersão constante (b)

Utilizando-se o teste F verificou-se que não há efeito da interação lotes por tratamentos e nem efeito de lotes. Entretanto, há efeito de tratamentos. Para identificar as diferenças significativas foi feito o desdobramento do número de graus de liberdade de tratamentos conforme mostra a Tabela 2. Observa-se que há efeito da interação entre tempos de exposição e temperaturas, as testemunhas diferem estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos térmicos, e as testemunhas diferem entre si, sendo a menor média para proporção de fungos incidentes observada na testemunha que recebeu tratamento químico.

Tabela 2: Análise de desvio, considerando o modelo logístico com superdispersão constante, para a variável proporção de fungos incidentes.

Causa de variação	g. l.	desvio	Valor p
Lote	1	0,64	0,72
Tratamento	11	513,95	<0,01
Entre Testemunhas	1	69,61	<0,01
Testemunhas <i>vs</i> Térmicos	1	300,52	<0,01
Entre Temperaturas	4	36,22	0,06
Entre Tempos de exposição	1	31,98	<0,01
Interação Temperatura:Tempos	4	75,62	0,03
Tratamento*Lote	11	39,72	0,73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, M. P., OLINDA, R. A., HOMMA, S. K., DIAS, C.T.S. Relações entre tratamento térmico, germinação, vigor e sanidade de sementes de tomate. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 32, nº 1 p.101-110, 2010.

COLLETT, D. *Modelling binary data*. London: Chapman & Hall, 1991. 369p.

COUTINHO, W.M., SILVA-MANN, R.; VIEIRA, M.G.G.C., MACHADO, C.F.; MACHADO, J.C. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho submetidas à termoterapia e condicionamento fisiológico. *Fitopatologia Brasileira*, *Fitopatologia Brasileira*, v. 32, p. 458- 464, 2007.

DEMÉTRIO, C. G. B. *Modelos lineares generalizados em experimentação agrônômica*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 46., 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. p.113.

HINDE, J. P.; DEMÉTRIO, C. G. B. *Overdispersion: models and estimation*. In: SINAPE, 13., 1998, Caxambu. Anais... Caxambu: SINAPE, 1998. 73p.

JØRGENSEN, B. Small dispersion asymptotics. *Revista Brasileira de Probabilidade e Estatística*, 1987.

LUCCA FILHO, O.A. Metodologia dos testes de sanidade de sementes. In: SOAVE, J.; WETZEL, M.M.V.S. (Ed.). *Patologia de sementes*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 276-298.

MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

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

R Development Core Team, organização: R Foundation for Statistical Computing, endereço: Vienna, Austria, ano: 2009, note: ISBN 3-900051-07-0, url: <http://www.R-project.org>.