

Aplicação dos modelos lineares generalizados na análise do número de estômatos em coentro (*Coriandrum sativum* L.)

Everton Batista da Rocha - LCE, ESALQ/USP¹

Simone Silmara Werner Gurgel do Amaral - LCE, ESALQ/USP²

Clarice Garcia Borges Demétrio - LCE, ESALQ/USP³

Mateus Augusto Donegá - LPV, ESALQ/USP⁴

Simone de Costa Mello - LPV, ESALQ/USP⁵

INTRODUÇÃO

O coentro é uma planta herbácea anual, que cresce de 40 a 50 cm, utilizada em pratos típicos do Nordeste e, industrialmente, em lingüiças, salsichas e batidas, em geral, no preparo de perfumes, licores, gim, pães, cervejas, achocolatados e ainda na preparação de fármacos. A planta é indicada para o tratamento de afecções gastrintestinais, febre quartã, acidez estomacal, estômago dilatado, picadas de cobra (pó) e dores histéricas (LORENZI e MATOS, 2002).

Os estômatos são estruturas celulares que têm a função de realizar trocas gasosas na planta. A contagem do número de estômatos é de grande importância, pois tem relação direta com a realização da fotossíntese nas plantas e assim fixação de carbono e conseqüentemente a produtividade. Além disso, a localização deles na folha pode ser um indicativo da tolerância da planta às intempéries climáticas, ou seja, uma planta que possui mais estômatos na face abaxial (inferior) da folha, provavelmente será menos sensível aos fatores climáticos do que aquelas que possuem um número maior de estômatos na face adaxial (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Nelder e Wedderburn (1972) mostraram que um conjunto de técnicas estatísticas, comumente estudadas separadamente, podem ser formuladas como uma classe de modelos de regressão, sendo uma extensão dos modelos clássicos de regressão, que denominaram de modelos lineares generalizados (MLG). Tais modelos envolvem três componentes a saber:

- i. Componente aleatório, representado por um conjunto de variáveis aleatórias independentes, provenientes de uma mesma distribuição que faz parte da família exponencial de distribuições:

¹Mestrando em Estatística e Experimentação Agronômica: e.batista.rocha@usp.br

²Doutoranda em Estatística e Experimentação Agronômica: sswerner@esalq.usp.br

³Professora Titular da Universidade de São Paulo: clarice@esalq.usp.br

⁴Doutorando do Departamento de Produção Vegetal: donegamateus@gmail.com

⁵Professora do Departamento de Produção Vegetal: scmello@esalq.usp.br

$$f(y_i; \theta_i, \phi) = \exp\{\phi^{-1}[y_i\theta_i - b(\theta_i)] + c(y_i, \phi)\}$$

- ii. Componente sistemático, as variáveis explanatórias (x_1, \dots, x_n) que entram no modelo na forma de uma soma linear de seus efeitos:

$$\eta = \mathbf{X}\beta$$

- iii. Função de ligação, uma função que vincula o componente aleatório ao sistemático.

$$\eta_i = g(\mu_i)$$

em que $g(\cdot)$ é uma função monótona e diferenciável.

A distribuição de Poisson é largamente empregada para analisar dados de ocorrências de um evento de interesse, por unidade de tempo, comprimento, área ou volume, sendo um caso particular de MLG. Ao se supor que uma variável aleatória segue uma distribuição de Poisson de parâmetro λ_i , ou seja $Y_i \sim Poisson(\lambda_i)$, tem-se que $Var(Y_i) = E(Y_i) = \mu_i = \lambda_i$ (DEMÉTRIO, 2001).

O presente trabalho tem como objeto estudar a relação entre a aplicação de silício (*Si*), potássio (*K*) e cálcio (*Ca*) via solução nutritiva em coentro e o número de estômatos nas faces abaxial e adaxial das folhas do coentro, utilizando a teoria de modelos lineares generalizados para análise dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento com plantas de coentro (*Coriandrum sativum L.*) foi conduzido em estufa no Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, em delineamento inteiramente casualizado em esquema de tratamentos fatorial 3×2 , sendo três relações *K* : *Ca*, (0, 75 : 1, 0; 1, 25 : 1, 0 e 1, 5 : 1, 0) e duas doses de *Si* (0 e 56 mg/L), aplicados via solução nutritiva, com quatro repetições em cada nível.

A variável resposta, Y_i , é o número de estômatos em mm^2 em cada face da folha, e, portanto, a distribuição a ser considerada é a Poisson. Como função de ligação adotou-se a função logarítmica $g(\mu) = \log(\mu)$ e como parte sistemática

$$\eta = \log(\mu) = \gamma + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}$$

em que, γ é a média geral, α_i o efeito associado à i -ésima relação *K* : *Ca*, $i = 1; \dots; 3$, e β_j o efeito associado à j -ésima dose de *Si*, $j = 1; 2$.

Considerou-se um modelo com p parâmetros adequado, se o valor do desvio, D_p , for inferior ao valor crítico $\chi_{n-p, \alpha}^2$, considerando o nível $\alpha = 0,05$ de significância. Para verificar o ajuste

do modelo utilizou-se o gráfico normal de probabilidades com envelope simulado. Todas as análises foram realizadas utilizando o ambiente R: A Language and Environment for Statistical Computing (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerou-se, primeiramente, os dados referentes ao número de estômatos na face abaxial das folhas de coentro. A Tabela 1 apresenta os desvios residuais para o modelo minimal ($\eta = \gamma$), e os modelos sob pesquisa considerando os efeitos da relação $K : Ca$ (α_i) e doses de Silício (β_j).

Tabela 1: Desvios Residuais, considerando o modelo Poisson para a análise dos números de estômatos na face abaxial da folha de coentro.

| Modelo | g.l. | Desvios | Valor de p |
|-------------------------------------|------|---------|------------|
| $\eta = \gamma$ | 23 | 32,638 | 0,0876 |
| $\eta = \alpha_i$ | 21 | 28,111 | 0,1370 |
| $\eta = \beta_j$ | 22 | 32,189 | 0,0742 |
| $\eta = \alpha_i + \beta_j$ | 20 | 27,662 | 0,1176 |
| $\eta = (\alpha \times \beta)_{ij}$ | 18 | 23,828 | 0,1607 |

Observa-se que para todos os modelos propostos o desvio residual não foi significativo, sendo assim opta-se, de acordo com o princípio da parcimônia, pela utilização do modelo minimal, apenas com a média geral (γ). Dessa forma, considerando os custos para a aplicação de Silício e as relações $K : Ca$, no que se refere ao número de estômatos na face abaxial, sugere-se a não utilização das mesmas, pois essa variável não será modificada estatisticamente em função da aplicação destas substâncias.

Na Figura 1 apresenta-se o gráfico normal de probabilidades com envelope simulado, no qual confirma-se que o modelo minimal ajusta-se bem aos dados.

Para os dados referentes à face adaxial da folha de coentro (Tabela 2), verificou-se que o desvio residual é não significativa apenas para o modelo com interação, que será o modelo adotado.

Tabela 2: Desvios residuais, considerando o modelo Poisson para a análise dos números de estômatos na face adaxial da folha de coentro.

| Modelo | g.l. | Deviance | Valor de p |
|-------------------------------------|------|----------|------------|
| $\eta = \gamma$ | 23 | 66,233 | <0,0001 |
| $\eta = \alpha_i$ | 21 | 48,338 | 0,0006 |
| $\eta = \beta_j$ | 22 | 61,664 | <0,0001 |
| $\eta = \alpha_i + \beta_j$ | 20 | 43,769 | 0,0016 |
| $\eta = (\alpha \times \beta)_{ij}$ | 18 | 21,055 | 0,2766 |

Na Figura 2, tem-se o gráfico normal de probabilidades para o modelo usado, confirmando um bom ajuste do modelo.

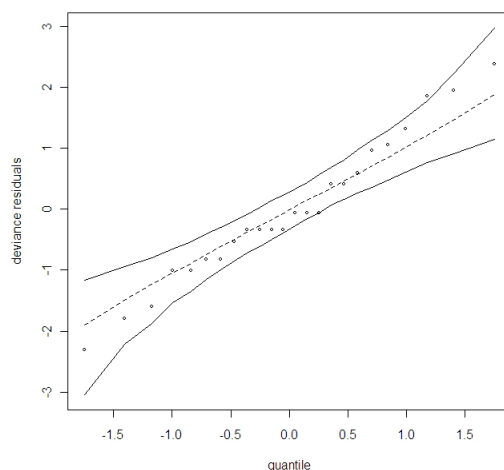


Figura 1: Gráfico Normal de Probabilidades para o modelo de Poisson ajustado aos números de estômatos na face abaxial da folha de coentro.

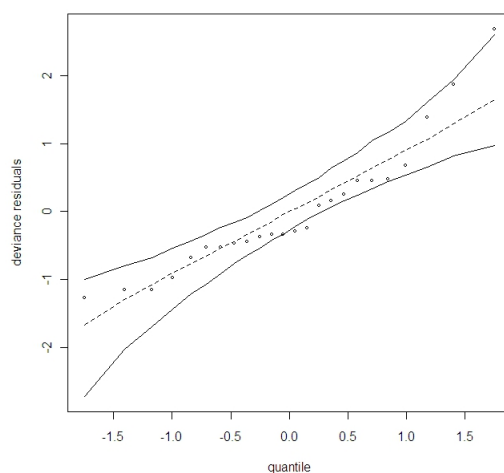


Figura 2: Gráfico Normal de Probabilidades para o modelo de Poisson ajustado aos números de estômatos na face adaxial da folha de coentro.

Considerando as médias dos tratamentos, observa-se que a aplicação da dose de 56mg/L de Silício, combinada com a relação $0,75 : 1$ de $K : Ca$, apresentou o maior número médio de estômatos na face adaxial da folha (Tabela 3), o que indica que as plantas que receberam tal tratamento, provavelmente, terão uma taxa fotossintética maior.

Tabela 3: Número médio de estômatos na face adaxial da folha de coentro (mm^2).

| Silício | Relação $K : Ca$ | | |
|------------------|------------------|--------|-------|
| | 0,75:1 | 1,25:1 | 1,5:1 |
| 0 mg/L | 128 | 131 | 133 |
| 56 mg/L | 172 | 129 | 122 |

CONCLUSÕES

O modelo de Poisson com função de ligação logarítmica ajustou-se bem aos números de estômatos na folha de coentro.

A aplicação de Silício e relações $K : Ca$ não teve efeito sobre o número de estômatos na face abaxial das folhas de coentro, porém para o número de estômatos na face adaxial, o modelo com a interação destes fatores deve ser considerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

LORENZI, H. & MATOS, F.J.A. *Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas*. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 2002. 512p.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. *Generalized linear models*. Journal of the Royal Statistical Society, A, 135, 370-384, 1972.

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>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.