

DOENÇAS COM PERÍODO DE INCUBAÇÃO VARIÁVEL EM FUNÇÃO DA FENOLOGIA DO HOSPEDEIRO

ARMANDO BERGAMIN FILHO & LILIAN AMORIM

Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, ESALQ-USP, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, e-mail: abergami@carpa.ciagri.usp.br

(Aceito para publicação em 26/09/2002)

Autor para correspondência: Armando Bergamin Filho

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. Doenças com período de incubação variável em função da fenologia do hospedeiro. Fitopatologia Brasileira 27:561-565. 2002.

RESUMO

Um período de incubação de cinco dias significa, no contexto da epidemiologia de doenças de plantas, que as infecções que deram origem aos sintomas visualizados no tempo t ocorreram no tempo $t-5$. Há um grupo de doenças, no entanto, que se comporta de modo diferente, isto é, o momento da infecção não pode ser inferido a partir da visualização dos sintomas. Esse grupo de doenças pode ser dividido, para fins didáticos, em função do órgão da planta que exibe os sintomas: (i) brotações jovens; (ii) perfilhos jovens; (iii) frutos recém-amadurecidos. Nesses três subgrupos, a expressão dos sintomas é função do estágio fenológico do órgão

afetado e tem pouca relação com o momento da infecção. Para essas doenças, maior ênfase é recomendada para estudos que visem a identificação da época mais provável de ocorrência da infecção, em detrimento do simples acompanhamento da expressão dos sintomas. Exemplos são apresentados para cada subgrupo e o modelo de crescimento monomolecular é sugerido como o que melhor descreve o progresso da doença em função do tempo para o grupo como um todo.

Palavras-chave adicionais: *Xylella fastidiosa*, *Guignardia citricarpa*, *Ustilago scitaminea*.

ABSTRACT

Diseases with a variable incubation period as a function of the host phenology

In botanical epidemiology, an incubation period of five days means that infections originating symptoms that can be visualized at time t have occurred at time $t-5$. Since not all diseases follow this rule, their time of infection cannot be derived from the time of symptom appearance. These diseases are grouped according to the plant organ in which symptoms appear: (i) young flushes/shoots; (ii) young tillers; (iii) fully developed fruits. In all these subgroups symptom

expression is a function of the phenological stage of the plant organ and has little relation to the time of infection. For these diseases, studies to determine the infection period should be emphasized, rather than the trivial monitoring of disease expression. Examples are given for each subgroup and the monomolecular growth is proposed as the best model to describe the disease progress curve for the whole group.

Período de incubação é o tempo compreendido entre a deposição do patógeno sobre o hospedeiro e o aparecimento do sintoma (Vanderplank, 1963; Rapilly, 1991; Bergamin Filho & Amorim, 1996; Kranz, 1996). Sintoma, nesse contexto, refere-se à exteriorização da doença observável a olho nu. Em epidemiologia, a importância do período de incubação deve-se ao fato de a quantificação da doença basear-se, via de regra, em sintomas visíveis. Um período de incubação de cinco dias significa, para condições de ambiente, hospedeiro e patógeno constantes, que as infecções que originaram os sintomas exteriorizados no tempo t ocorreram no tempo $t-5$. Assim, a curva total de doença – que inclui a doença visível (lesões mais velhas que o período de incubação) e a doença invisível (lesões mais novas que o período de incubação) – e a curva de doença visível são paralelas e

defasadas no tempo por um período de incubação, o que implica em mesmas taxas de progresso (Figura 1).

Há doenças, no entanto, que se comportam de modo diferente, isto é, o momento da infecção não pode ser inferido a partir da visualização dos sintomas. Nessas doenças, a expressão dos sintomas é função principal do estágio fenológico do órgão afetado e tem pouca relação com o momento da infecção. Para fins didáticos, essas doenças podem ser agrupadas em função do órgão da planta que exibe os sintomas: (i) brotações jovens; (ii) perfilhos jovens; (iii) frutos recém-amadurecidos.

A clorose variegada dos citros (*Citrus* spp.) (CVC), causada pela bactéria *Xylella fastidiosa* Wells *et al.*, é um exemplo típico do primeiro subgrupo (brotações jovens). A Figura 2 mostra o crescimento temporal da doença e o

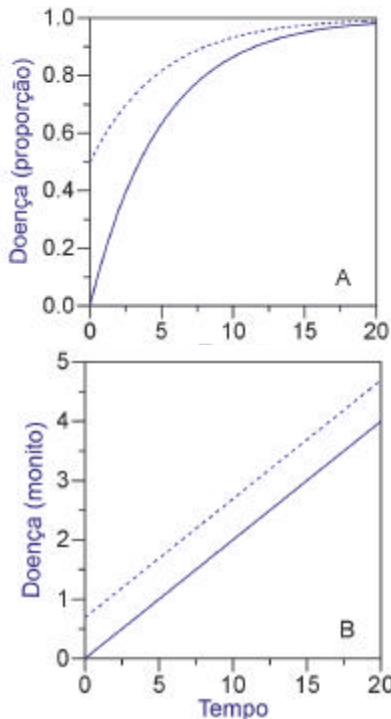


FIG. 1 - Curva total de doença (linha pontilhada) e curva visível de doença (linha cheia) de acordo com o crescimento monomolecular [$y(t) = 1 - (1 - y_0) \exp(-r_M t)$], expressas em incidência de doença y (A) e em monito da incidência de doença [$\ln(1/(1-y))$] (B). A curva total de doença inclui a doença visível (lesões mais velhas que o período de incubação) e a doença invisível (lesões mais novas que o período de incubação). A defasagem entre as curvas representa o período de incubação. O tempo necessário para que a doença aumente de qualquer nível inferior para qualquer nível superior é o mesmo para ambas as linhas. No exemplo, $r_M = 0,20/\text{dia}$ e o período de incubação é de 3,5 dias.

lançamento de novas brotações na região central do Estado de São Paulo. O período de incubação da CVC não é conhecido com exatidão, havendo sugestões na literatura de um mínimo de seis meses até um máximo de 14 meses (Lopes *et al.*, 1996). As maiores taxas de progresso da doença ocorrem na primavera e no verão (Laranjeira, 1997; 2002; Laranjeira *et al.*, 2000), o que coincide com uma maior brotação das plantas cítricas (Tubelis, 1995; Laranjeira, 2002). Taxas de progresso próximas de zero ocorrem no outono e no inverno (Laranjeira, 1997; 2002), épocas de pouco crescimento vegetativo do hospedeiro (Tubelis, 1995; Laranjeira, 2002). Esses fatos, no entanto, nada dizem quanto ao período de maior infecção. Só é conhecido, até agora, que a primavera e o verão são as épocas de maior expressão dos sintomas. A maior expressão dos sintomas está associada, principalmente, à maior brotação das plantas cítricas que ocorre nessa mesma época (Figura 2). Quanto às infecções, estas podem ocorrer em qualquer

tempo entre seis e 14 meses antes da expressão dos sintomas. A má-formação da mangueira (*Mangifera indica* L.), causada pelo fungo *Fusarium subglutinans* [(Wollenweb. & Reinking) Nelson, Toussoun & Marasas], é outro exemplo deste subgrupo (Noriega-Cantú *et al.*, 1999).

O carvão da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), causado pelo fungo *Ustilago scitaminea* Sydow, é um exemplo típico do segundo subgrupo (perfilhos jovens). A Figura 3 mostra o crescimento temporal da doença e a curva de perfilhamento da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. O período de incubação do carvão em condições naturais também não é conhecido com exatidão uma vez que, como no caso da CVC, a expressão dos sintomas está mais relacionada com a época de maior perfilhamento do hospedeiro (Figura 3) e guarda pouca relação com a época da infecção. Esta, na realidade, pode ocorrer durante um período de vários meses antes do

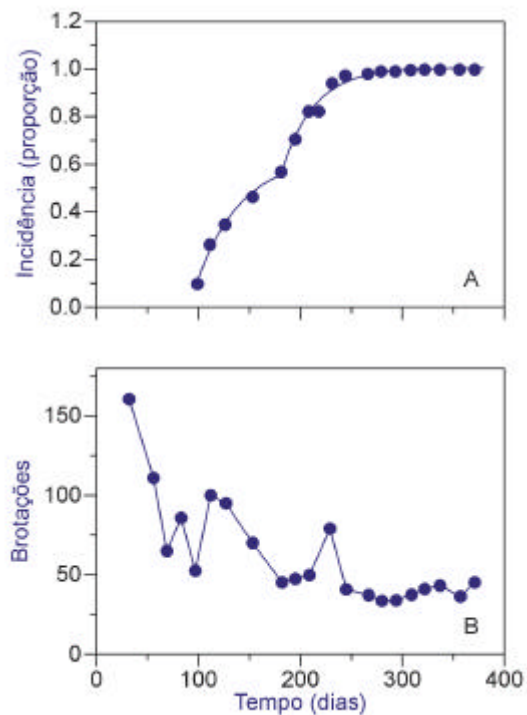


FIG. 2 - Curvas de progresso da clorose variegada dos citros (*Citrus* spp.) - círculos cheios=dados reais; linha=modelo monomolecular ajustado aos dados por meio de regressão não-linear [$y(t) = K[1 - (1 - y_0/K) \exp(-r_M t)]$] (A) e número de brotações de citros na região central do Estado de São Paulo (B). A primeira etapa da curva de progresso da doença correlaciona-se com o primeiro pico de brotação (antes do dia 100) e a segunda etapa, com o segundo pico (logo após o dia 100). Os aumentos da doença e os picos de brotação estão defasados no tempo por cerca de 60 dias. As infecções que deram origem aos sintomas podem ter ocorrido entre seis e 14 meses antes da expressão dos sintomas. Baseado em Laranjeira (2002).

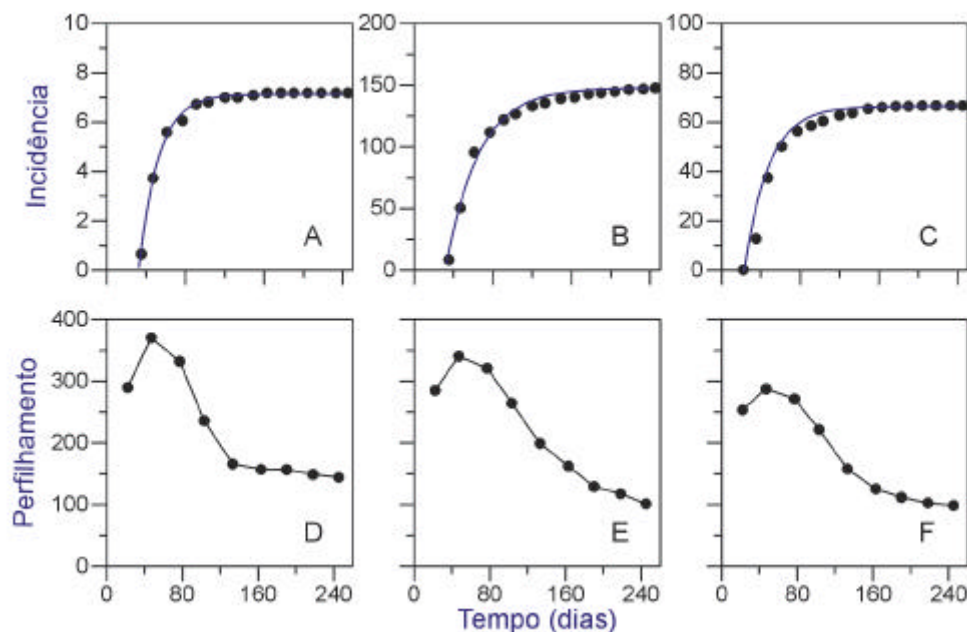


FIG. 3 - Curvas de progresso do carvão da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) - em milhares de chicotes por hectare; círculos cheios=dados reais; linha=modelo monomolecular ajustado aos dados por meio de regressão não-linear [$y(t) = K[1 - (1 - y_0/K) \exp(-r_M t)]$] e curvas de perfilhamento da cana-de-açúcar (em milhares de perfis por hectare) para as variedades SP70-1143 (A e D), SP71-1406 (B e E) e SP71-799 (C e F). O aumento no número de chicotes coincide com o período de máximo perfilhamento do hospedeiro. As infecções que deram origem aos chicotes podem ter ocorrido durante um período de vários meses antes do perfilhamento e da expressão dos sintomas. Baseado em Amorim (1997).

perfilhamento e da expressão dos sintomas (Amorim & Bergamin Filho, 1991; Amorim *et al.*, 1993).

Doenças cujos sintomas se manifestam quando do amadurecimento dos frutos (ou de órgãos reprodutivos em geral) exemplificam o terceiro subgrupo (frutos recém-amadurecidos). A pinta preta dos citros causada por *Guignardia citricarpa* Kiely, a podridão parda do pessegueiro [*Prunus persicae* (L.) Batsch] causada por *Monilinia fructicola* (Wint) Honey e diversas antracnoses de fruteiras tropicais causadas por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc., entre outras, apresentam grande importância econômica. Um aspecto comum a todas essas doenças é a chamada infecção latente, que permanece invisível por vários meses (Verhoeff, 1974; Prusky & Plumbley, 1992). A pinta preta dos citros (Figura 4), por exemplo, expressa seus sintomas principalmente nos frutos maduros, muitas vezes após a colheita, durante o armazenamento e o transporte (Feichtenberger, 1996), mas as infecções que deram origem aos sintomas podem ter ocorrido em qualquer época desde a queda das pétalas até quatro ou cinco meses depois (Kotzé, 1981; Baldassari, 2001). O conhecimento da época de infecção, neste e nos outros casos, tem evidente valor heurístico para a definição da melhor estratégia de manejo.

As curvas temporais típicas para qualquer dos três subgrupos citados, postula-se aqui, devem seguir o

crescimento monomolecular, independentemente de as doenças consideradas serem policíclicas (a CVC, por exemplo) ou monocíclicas (o carvão da cana-de-açúcar e a pinta preta dos citros, por exemplo) (Figuras 2A, 3A-C e 4A). A origem do inóculo – se externa e constante durante a estação de crescimento do hospedeiro (doenças monocíclicas) ou se proveniente de ciclos recorrentes de infecção durante a estação de crescimento do hospedeiro (doenças policíclicas) – tem pouca relevância para a dinâmica temporal da doença. Portanto, a dinâmica temporal da doença depende, basicamente, das infecções ocorridas no período de crescimento do hospedeiro anterior à brotação, ou ao perfilhamento, ou ao amadurecimento do fruto, conforme o subgrupo considerado. O total dessas infecções passadas é equivalente ao inóculo de uma doença monocíclica presente no solo e pode ser considerada constante em cada situação. O crescimento monomolecular é descrito pela equação diferencial:

$$dy/dt = r_M (1 - y) \quad 1$$

onde y é a proporção de doença. Assim, o aumento da doença é função somente da proporção de plantas sadias $(1-y)$ e de um fator de proporcionalidade r_M , que é a taxa de crescimento da doença. Para um nível baixo de doença $[(1-y) \approx 1]$, o lado direito da Equação 1 é quase constante (r_M), ou seja, a doença

aumenta linearmente no início da epidemia. Com valores maiores de y a taxa absoluta de crescimento dy/dt diminui, tendendo a zero quando y está próximo do nível máximo de doença 1 (Figura 1-4). Por integração, a Equação 1 pode ser resolvida analiticamente, assumindo-se a condição inicial $y(t=0) = y_0$:

$$y(t) = 1 - (1 - y_0) \exp(-r_M t) \quad 2$$

Para alguns patossistemas, o nível assintótico de doença pode não estar restrito ao valor 1. Nesses casos introduz-se o termo K , definido como o máximo nível de doença ou capacidade de suporte, o que leva a uma equação diferencial generalizada para o crescimento monomolecular:

$$dy/dt = r_M (K - y) \quad 3$$

Para a condição inicial $y(t=0) = y_0$, a dinâmica da doença descrita pela Equação 3 é dada por:

$$y(t) = K [1 - (1 - y_0 / K) \exp(-r_M t)] \quad 4$$

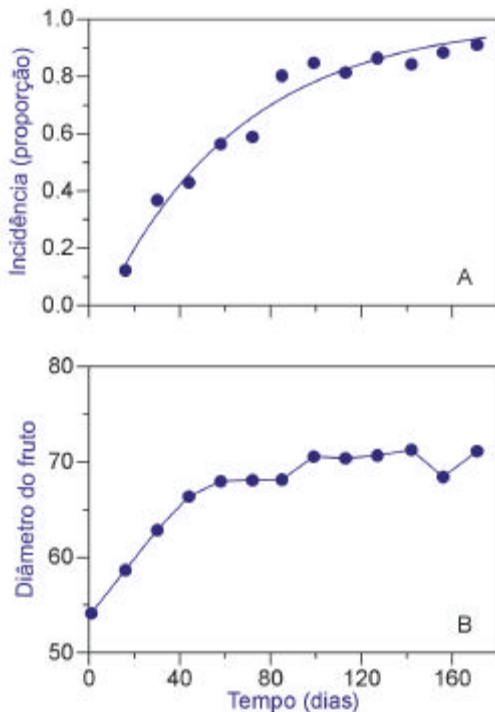


FIG. 4 - Curva de progresso da pinta preta dos citros (*Citrus* spp.) -círculos cheios=dados reais; linha=modelo monomolecular ajustado aos dados por meio de regressão não-linear $[y(t) = K[1-(1-y_0/K) \exp(-r_M t)]]$ (A) e diâmetro do fruto de citros (B). O diâmetro é usado como indicador do estágio de maturação do fruto. As infecções que deram origem às lesões nos frutos podem ter ocorrido em qualquer época compreendida desde a queda de pétalas até quatro ou cinco meses depois. Baseado em M.B. Spósito, 2002 – dados não publicados).

Para este grupo de doenças como um todo, estudos que visem a identificação da época mais provável para a ocorrência da infecção devem ser priorizados, em detrimento do simples acompanhamento da expressão dos sintomas, prática esta comum para as doenças que não pertencem ao grupo. Essa tarefa, porém, nem sempre é fácil. Para a CVC, por exemplo, os estudos devem contemplar a caracterização fenológica de diferentes variedades em diferentes regiões (Laranjeira, 2002), aliada ao monitoramento da dinâmica populacional dos vetores (Pereira, 2000) e à caracterização de condições predisponentes para a infecção (Pereira, 2000). Técnicas serológicas e moleculares para identificar plantas doentes imediatamente após a infecção também têm papel relevante na elucidação da estrutura e do comportamento desse tipo de patossistema (Pereira, 2000; Laranjeira, 2002).

Pesquisas com essa abordagem, sem dúvida, oferecem grandes oportunidades de avanço acadêmico e aplicado, especialmente no que concerne à elaboração de sistemas de manejo, ainda não disponíveis para diversas das doenças mencionadas, como a CVC, a pinta preta dos citros e a antracnose de fruteiras tropicais. Para essas doenças, a filosofia que preconiza a aplicação de medidas de controle a partir de um nível crítico de incidência ou severidade (Zadoks & Schein, 1979) certamente não é adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à pesquisadora Daniela Biaggioni Lopes, da Embrapa/Semi-Árido, pela leitura crítica do manuscrito e pela sugestão de exemplos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L. Emprego de modelo sigmóide duplo na análise de progresso do carvão e na caracterização da resistência de variedades de cana-de-açúcar. (Tese de Livre-docência). Piracicaba. E.S.A. Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 1997.
- AMORIM, L. & BERGAMIN FILHO, A. Sugarcane smut development models: I. Annual curves of disease progress. *Journal of Plant Diseases and Protection* 98:605-612. 1991.
- AMORIM, L., BERGAMIN FILHO, A. & HAU, B. Analysis of progress curves of sugarcane smut on different cultivars using functions of double sigmoid pattern. *Phytopathology* 83:933-936. 1993.
- BALDASSARI, R.B. Influência de frutos sintomáticos de uma safra na incidência de *Guignardia citricarpa* na safra subsequente e período de suscetibilidade de frutos de laranjeiras 'Natal' e 'Valência' (Dissertação de Mestrado). Jaboticabal. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. 2001.
- BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo. Ceres. 1996.
- FEICHTENBERGER, E. Mancha-preta dos citros no Estado de São Paulo. *Laranja* 17:93-108. 1996.
- KOTZÉ, J.M. Epidemiology and control of citrus black spot in South Africa. *Plant Disease* 65:945-950. 1981.

- KRANZ, J. Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten. Eine Einführung. Stuttgart. Ulmer. 1996.
- LARANJEIRA, F.F. Dinâmica espacial e temporal da clorose variegada dos citros. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba. E.S.A. Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 1997.
- LARANJEIRA, F.F. Epidemiologia da clorose variegada dos citros no Estado de São Paulo. (Tese de Doutorado). Piracicaba. E.S.A. Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2002.
- LARANJEIRA, F.F., GOTTWALD, T.R., AMORIM, L., BERGER, R.D. & BERGAMIN FILHO, A. Spatio-temporal dynamics of citrus variegated chlorosis: A preliminary analysis. Proc. 14th IOCV Conference. Campinas, São Paulo. 2000. pp.223-231.
- LOPES, J.R.S, BERETTA, M.J.G., HARAKAVA, R., ALMEIDA, R.P.P., KRÜGNER, R. & GARCIA JR., A. Confirmação da transmissão por cigarrinhas do agente causal da clorose variegada dos citros, *Xylella fastidiosa*. Fitopatologia Brasileira 21:343. 1996. (Resumo)
- NORIEGA-CANTÚ, D.H., TÉLIZ, D., MORA-AGUILERA, G., RODRÍGUEZ-ALCAZAR, J., ZAVALETA-MEJÍA, E., OTERO-COLINAS, G. & CAMPBELL, C.L. Epidemiology of mango malformation in Guerrero, México, with traditional and integrated management. Plant Disease 83:223-228. 1999.
- PEREIRA, E.F. Estudo de fatores sazonais relacionados à transmissão de *Xylella fastidiosa* em pomares de citros. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba. E.S.A. Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2000.
- PRUSKY, D. & PLUMBLEY, R.A. Quiescent infections of *Colletotrichum* in tropical and subtropical fruits. In: Bailey, J.A. & Jeger, M.J. (Eds.). *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. Wallingford. CAB International. 1992. pp.289-307.
- RAPILLY, F. L'épidémiologie en Pathologie Végétale. Mycoses Aériennes. Paris. INRA. 1991.
- TUBELIS, A. Clima: fator que afeta a produção e qualidade da laranja. Laranja 16:179-211. 1995.
- VANDERPLANK, J.E. Plant Diseases: Epidemics and Control. New York. Academic. 1963.
- VERHOEFF, K. Latent infections by fungi. Annual Review of Phytopathology 12:99-110. 1974.
- ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. Epidemiology and Plant Disease Management. New York. Oxford University Press. 1979.