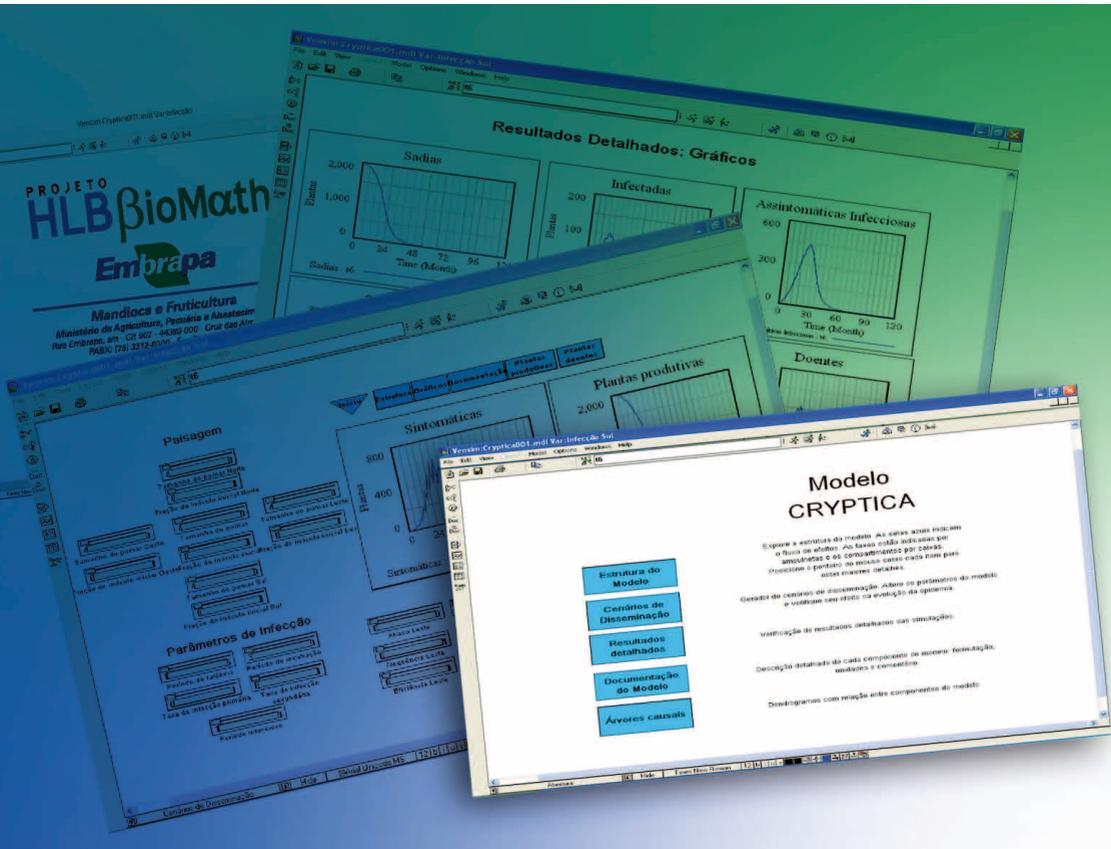


## Cryptica: um software para simulação de epidemias de huanglongbing dos citros (HLB)





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 215**

# **Cryptica: um *software* para simulação de epidemias de *huanglongbing* dos citros (HLB)**

---

*Francisco Ferraz Laranjeira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

### **Embrapa Mandioca e Fruticultura**

Rua Embrapa - s/n, Caixa Postal 007  
44380-000, Cruz das Almas, Ba  
Fone: (75) 3312-8048  
Fax: (75) 3312-8097  
www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura

### **Unidade responsável pelo conteúdo e edição:**

Embrapa Mandioca e Fruticultura

### **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Aldo Vilar Trindade*

Secretária-executiva: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Membro: *Antonio Alberto Rocha Oliveira*

*Áurea Fabiana Apolinário de Albuquerque*

*Cláudia Fortes Ferreira*

*Harllen Sandro Alves Silva*

*Herminio Souza Rocha*

*Jacqueline Camolese de Araujo*

*Marcio Eduardo Canto Pereira*

*Tullio Raphael Pereira Pádua*

*Léa Ângela Assis Cunha*

Revisão gramatical: *Adriana Villar Tullio Marinho*

Normalização bibliográfica: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Editoração eletrônica: *Anapaula Rosário Lopes*

Ilustração da capa: *Anapaula Lopes / Francisco Ferraz Laranjeira*

### **1ª edição**

Versão online (2016).

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

##### **Embrapa Mandioca e Fruticultura**

---

Laranjeira, Francisco F.

Cryptica: um software para simulação de epidemias de huanglongbing dos citros (HLB) [recurso eletrônico]: / Francisco F. Laranjeira. - Cruz das Almas : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2015

44 p. il. ; 21 cm. (Documentos / Embrapa Mandioca e Fruticultura, ISSN 1809-4996, 215).

1. Fruta cítrica. 2. Doença de planta. 3. Software - programa de computador. I. Título. II. Série

CDD 632.3

©Embrapa 2016

# **Autores**

## **Francisco Ferraz Laranjeira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia,  
pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura,  
Cruz das Almas, BA, Brasil.



# Apresentação

As dificuldades impostas ao controle do *huanglongbing* dos citros (HLB), determinada pela capacidade de plantas infectadas, assintomáticas, se tornarem fonte de inoculo das bactérias (*Candidatus Liberibacter* spp.), e agravadas pelos fatores apresentados por Francisco Laranjeira, obriga que se utilizem várias armas para mitigar os problemas causados pelo HLB.

Neste contexto, a presente publicação apresenta uma importante ferramenta para avaliar possíveis cenários de disseminação da doença e poderá contribuir para consolidar programas de conscientização de controle do HLB. Ao se apoiar em modelos que se aproximam da realidade o Cryptica simula os danos causados pela doença e poderá estimular a realização de inspeção e a eliminação de plantas sintomáticas, contribuindo, portanto, para aumentar a eficiência das estratégias de controle e contenção da doença.

As simulações realizadas no Cryptica são produzidas a partir da proposição de três conjuntos de parâmetros associados à paisagem (escala dos pomares), infecção e erradicação. Diante das informações até então disponíveis o software é mais um aliado nessa batalha de várias alternativas de manejo conjunto dessa doença.

*Dr. Carlos Estevão Leite Cardoso*  
Chefe Geral substituto da Embrapa Mandioca e Fruticultura



# Sumário

<b>Introdução</b> .....	9
<b>Como Instalar</b> .....	12
<b>Características Gerais</b> .....	16
<b>Vistas</b> .....	18
<b>Simulando epidemias</b> .....	35
<b>Considerações finais</b> .....	43
<b>Referências</b> .....	44



# Cryptica: um *software* para simulação de epidemias de *huanglongbing* dos citros (HLB)

---

*Francisco Ferraz Laranjeira*

## Introdução

Dentre as diversas doenças que podem afetar os cultivos, existe um grupo muito peculiar, cuja principal característica é apresentar um período de infecção críptica. Isso significa que a planta, após ser infectada pelo patógeno, será fonte de inóculo desse patógeno mesmo sem apresentar sintomas. A dificuldade do controle do que essas doenças trazem é ainda maior quando há necessidade de erradicação. Como detectar as plantas infectadas? É possível erradicá-las? Em quais circunstâncias? Quais as condições ambientais e de paisagem de cultivo que tornam as medidas mais ou menos eficientes?

Essas perguntas não são respondidas facilmente com estudos de campo. Muitas vezes, aquelas doenças são quarentenárias, o que inviabiliza a experimentação. Outras, os fatores biológicos (período de incubação, por exemplo) são tão variáveis que um ou dois experimentos só validam situações locais. É nesse contexto que o uso de modelos e estudos de simulação podem ajudar nos esforços dos agentes de defesa fitossanitária. Para que isso seja possível, essas ferramentas biomatemáticas precisam ser facilmente compreendidas e manipuladas.

O *huanglongbing* dos citros (HLB) é uma das doenças quarentenárias com infecção críptica mais importantes no mundo. O HLB é causado por

bactérias restritas ao floema (*Candidatus Liberibacter* spp.), transmitidas e dispersas tanto por psílídeos (*Diaphorina citri*, no caso do Brasil e dos países da América e da Ásia) quanto por material vegetativo infectado.

Diversos fatores potencializam a gravidade dessa doença, destacando-se:

- a) Período de incubação longo, mas variável, o que leva à ocorrência de infecções crípticas. Ou seja, plantas assintomáticas são capazes de atuar como fonte de inóculo durante meses.
- b) Inseto vetor altamente eficiente na transmissão das bactérias, capaz de transmiti-las desde os estágios ninfais e durante toda a sua vida adulta, com provável relação circulativa propagativa.
- c) Existência de hospedeiro alternativo tanto da bactéria quanto do vetor (*Murraya paniculata* ou murta, planta ornamental utilizada em projetos de urbanização).
- d) Inexistência de fontes de resistência conhecidas no gênero *Citrus* e afins.

Também detectado no Paraná e em Minas Gerais, foi em São Paulo que o HLB apareceu pela primeira vez e é lá que tem se disseminado de maneira mais intensa. Diante disso, o manejo atualmente empregado naquele estado consiste no plantio de mudas certificadas, controle do psílídeo e remoção de plantas infectadas. Essa estratégia tem mostrado alguma eficiência nas regiões onde é realizada de forma rigorosa e constante. Apesar disso, o número de municípios paulistas com a presença do HLB tem aumentado constantemente.

A citricultura paulista é a maior do Brasil, mas dados do IBGE indicam que os citros são cultivados comercialmente em cerca de 88% das microrregiões brasileiras (IBGE, 2008). Ao contrário de São Paulo, a produção dessas regiões destina-se ao mercado interno, muitas vezes sendo importante fonte de renda para agricultores de base familiar. A chegada do HLB a essas áreas seria desastrosa. Portanto, estratégias de exclusão e erradicação precoce são cruciais; em específico, ferramentas e informações em apoio a ações das agências de defesa fitossanitária.

Diante dessa preocupação, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a Instrução Normativa nº 53 (IN 53, 2008), que trata especificamente dos critérios e dos procedimentos para a localização e a remoção de plantas com HLB. No entanto, aplicados em São Paulo, esses critérios apresentam sucesso apenas relativo. Mais ainda, a exigência de erradicação sem exceções impossibilita a manutenção de plantas sintomáticas em campo para trabalhos de pesquisa.

Considerando as características do patossistema, da dificuldade de execução de experimentos em campo (erradicação obrigatória, longo período de incubação, resistência dos citricultores), trabalhos de modelagem e simulação assumem papel crucial. A integração de dados biológicos e modelos matemáticos torna possível criar ferramentas de prospecção de cenários que orientem a tomada de decisões e o aperfeiçoamento de ações de controle.

Este *software* faz parte dos resultados do projeto HLB BioMath, que tem como objetivo gerar informações que permitam à defesa fitossanitária priorizar, antecipar ou reavaliar ações relativas à exclusão ou à erradicação do HLB. Cryptica é parte de uma «caixa de ferramentas» para a tomada de decisão.

Embora possa ser usado de maneira geral para doenças com infecção críptica, na forma como está sendo distribuído o *software* foca na disseminação do HLB dos citros, doença de suma importância para a citricultura e ainda restrita aos Estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais. Nas demais regiões citrícolas, o impacto de sua chegada seria altíssimo. Assim, é necessário que as agências de defesa agropecuária tenham ferramentas de treinamento de seus técnicos, assim como ferramentas que possam gerar cenários de disseminação adaptados às condições locais e que subsidiem o desenvolvimento de planos de contingência e de conscientização dos agricultores. O *software* Cryptica atende a esses requisitos.

O *software* é destinado às agências e aos serviços de defesa fitossanitária. Seu uso deve atender a três propósitos:

- a) servir como ferramenta para treinamento de fiscais agropecuários quanto à dinâmica de epidemias de HLB dos citros.
- b) possibilitar o teste de cenários de disseminação da doença ajustados às peculiaridades de cada local.
- c) servir como ferramenta para apresentação de tais cenários aos agricultores por parte das agências de defesa agropecuária.

O objetivo final desses três propósitos é facilitar as ações de conscientização e de eventuais planos de contingência do HLB por parte das agências de defesa.

## Como Instalar

O Cryptica é um *software* desenvolvido em plataforma VenSim (Ventana Systems, 2004) para geração e avaliação de cenários de disseminação de doenças com infecção críptica, e funciona apenas sob sistema operacional Windows (XP, Vista, Windows 7 e Windows 8). O *software* é composto de quatro arquivos: VenSim Model Reader (venred32.exe), modelo Cryptica (Cryptica001.vpm), manual de utilização em pdf (Manual Cryptica.pdf) e instruções para instalação (Como instalar o Cryptica.txt). Essa forma de distribuição permite seu uso livre, mas não sua alteração pelo usuário. Os arquivos não precisam estar juntos em uma mesma pasta, mas sem dúvida isso é conveniente. O primeiro arquivo é o instalador do leitor de modelos, programa base que permitirá que o Cryptica seja usado. O segundo arquivo é o programa Cryptica propriamente dito. O terceiro e o quarto arquivos trazem informações de como usar e instalar o programa. As instruções de instalação podem ser sumarizadas nos seguintes passos:

- a) Clique duas vezes no arquivo venred32.exe.
- b) O Windows poderá apresentar uma caixa de “Controle de Conta do Usuário” perguntando se deseja mesmo fazer a instalação. Clique em “Sim”.

- c) A tela de abertura do instalador do Vensim Model Reader informa sobre o processo e como desinstalar (Figura 1). Clique no botão “Next”.
- d) A próxima tela a ser aberta é a do termo de licença do programa (Figura 2). Caso concorde, clique em «Yes».

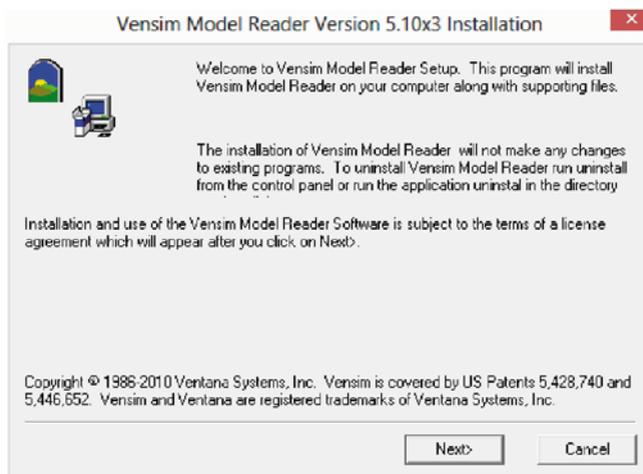


Figura 1. Tela de abertura da instalação do *Vensim Model Reader*.

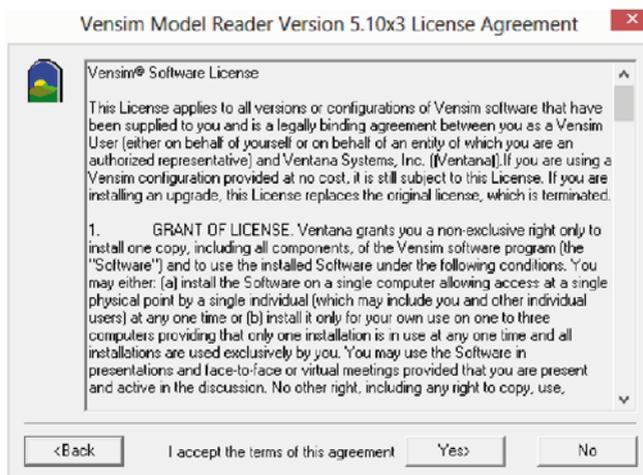
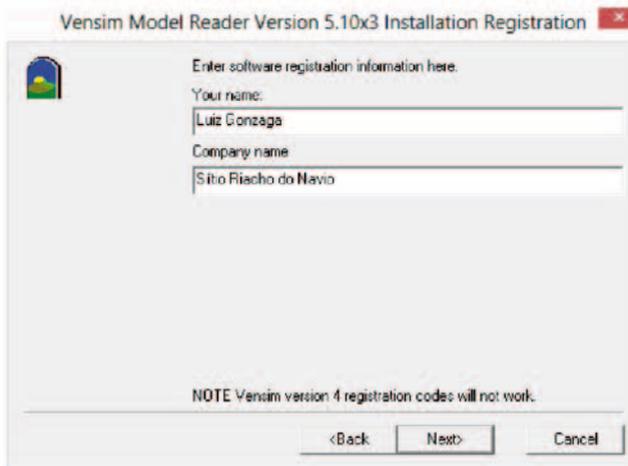
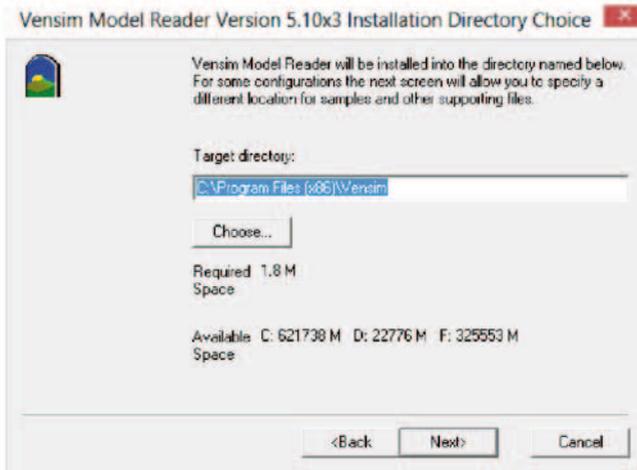


Figura 2. Termos de licença do *Vensim Model Reader*.

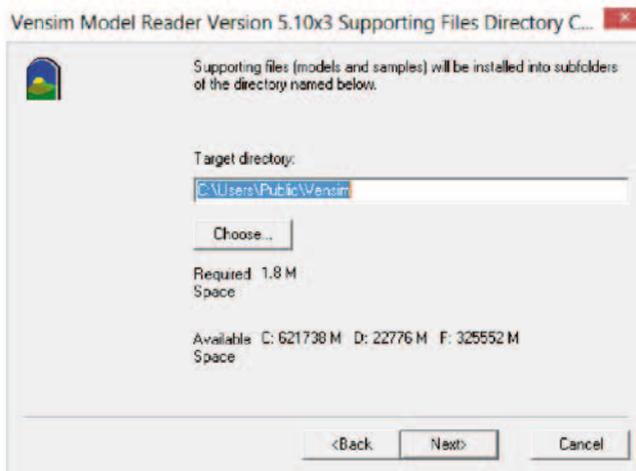
- e) Na tela de identificação do usuário (Figura 3), digite seu nome, nome de sua empresa e clique no botão “Next”.
- f) Selecione então o local onde o programa será instalado e clique em “Next” (Figura 4).
- g) Selecione então o local onde futuros modelos serão instalados e clique em “Next” (Figura 5). Não se preocupe, é possível colocar o modelo em qualquer pasta e abri-lo a partir do local escolhido.
- h) Na tela de seleção de grupo de programas é possível escolher com quais programas o Vensim Model Reader será colocado (Figura 6). Clique em “Install” e siga demais instruções, sempre clicando em “Sim” nas opções apresentadas. A última tela dará a opção de abrir o programa.



**Figura 3.** Tela de identificação do usuário.



**Figura 4.** Tela de seleção do local em que o *Vensim Model Reader* será instalado.



**Figura 5.** Tela de seleção do local em que os modelos serão colocados.

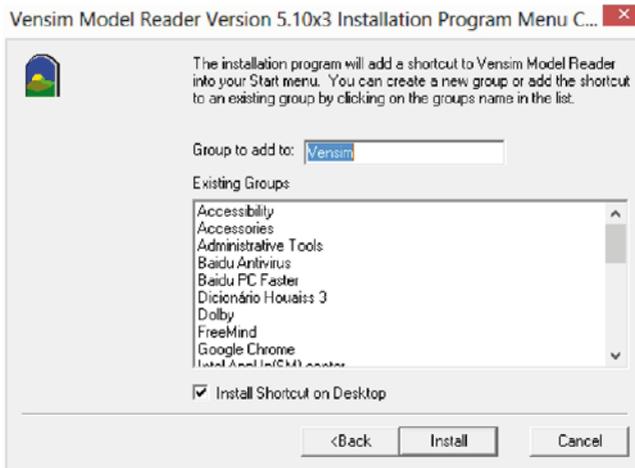


Figura 6. Tela de seleção de grupo de programas.

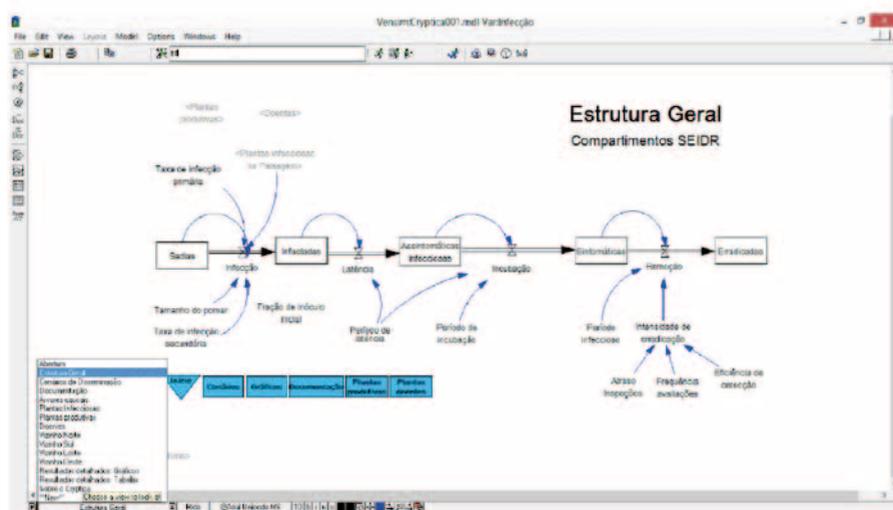
## Características Gerais

O modelo que embasa o Cryptica é do tipo compartimental, com transições governadas por taxas. Assim, as plantas de cada simulação vão passando de compartimento a compartimento conforme a taxa aplicada. Por exemplo, a passagem de plantas sadias para infectadas é governada pela taxa de infecção, que, por sua vez, tem duas vertentes, a infecção primária e a secundária.

Os compartimentos podem ser de plantas Sadias, Infectadas, Assintomáticas Infecciosas, Sintomáticas e Removidas. Como a paisagem na qual as simulações são feitas engloba um pomar central e quatro pomares vizinhos (Norte, Sul, Leste e Oeste), a estrutura de compartimentos é replicada em cada um dos pomares e os cálculos são feitos de maneira integrada, para todos os pomares. Apesar disso, os resultados são apresentados apenas para o pomar central. Ou seja, as simulações são feitas para indicar o que aconteceria com o pomar central considerando-se os fatores envolvidos, incluindo-se os vizinhos.

As simulações são controladas por três conjuntos de parâmetros, quais sejam aqueles que determinam a paisagem de simulação, os parâmetros relativos à infecção e os parâmetros relativos à erradicação. Os parâmetros de infecção são únicos para todo o sistema, ou seja, atuam em qualquer dos pomares da paisagem. Os outros dois conjuntos de parâmetros podem ser alterados especificamente para cada pomar.

O *software* é composto de 15 vistas ou janelas, sendo que as mais importantes são Estrutura Geral, Cenários de Disseminação e Resultados Detalhados. Em Estrutura Geral, é apresentada a estrutura de compartimentos e onde as taxas influenciam a dinâmica da doença. Cenários de Disseminação pode ser visto como o painel de controles do programa. É lá que o usuário altera as configurações, ocorrem as simulações e visualizam-se os primeiros resultados. Em Resultados Detalhados são apresentados gráficos com os resultados para diversos compartimentos. As vistas podem ser acessadas por botões nas próprias telas ou por meio de controle na parte inferior esquerda da tela (Figura 7). Abaixo são descritas todas as vistas.



**Figura 7.** Vista com Estrutura Geral do modelo. No canto inferior esquerdo, botão para acesso direto a outras vistas.

## Vistas

**Abertura.** Essa é a vista que abre o programa e dá acesso inicial às suas partes fundamentais. É composta de cinco botões que, quando clicados, levam o usuário à vista selecionada e a uma minidescrição daquelas vistas (Figura 8). Caso o programa não abra nessa vista, basta clicar no botão triangular em qualquer outra vista para ir à Abertura.

**Estrutura Geral.** Nessa vista (Figura 9), o usuário pode ver a estrutura de compartimentos (caixas retangulares), o fluxo entre compartimentos (setas pretas duplas), as taxas que regulam os fluxos (ampulhetas) e as diversas variáveis que influenciam as taxas (setas azuis). Em cinza, são compartimentos que derivam dos principais e que são definidos em outras vistas. Nesta e em qualquer vista que apresente elementos estruturais é possível obter informações diretas: basta que o usuário pouse o ponteiro do mouse sobre o elemento para que surja uma caixa retangular amarela com sua descrição. Abaixo da estrutura encontram-se botões que, ao serem clicados, levam o usuário a outras vistas (retangulares) ou à vista Abertura (triangular). As funções desses botões, assim como sua presença repetem-se em outras vistas do programa.

**Cenários de disseminação.** Essa vista é o painel de controle das simulações (Figura 10). É aqui que o usuário poderá fazer seus testes, visualizar resultados preliminares e, se quiser, gravar os resultados das simulações. Embora seja possível visualizar diversas simulações ao mesmo tempo, é sempre conveniente gravá-los.

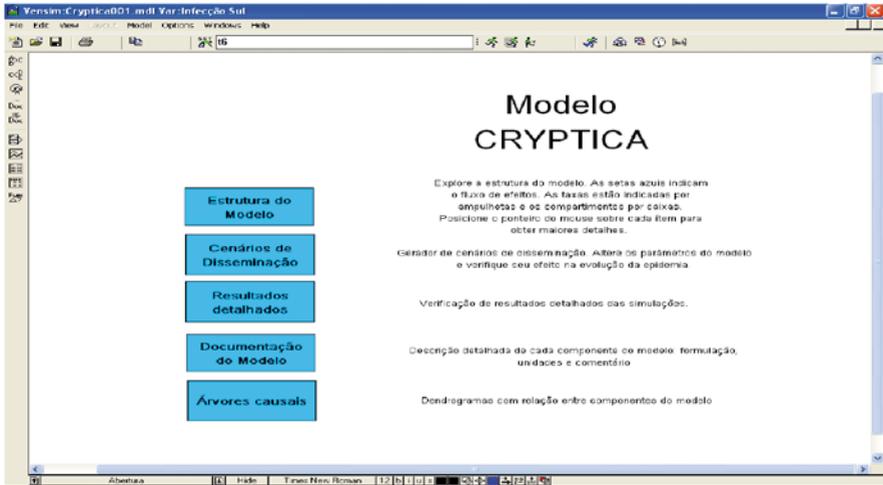


Figura 8. Vista da Abertura do programa. Clicando-se nos retângulos azuis, dá acesso a outras das vistas mais importantes do programa.

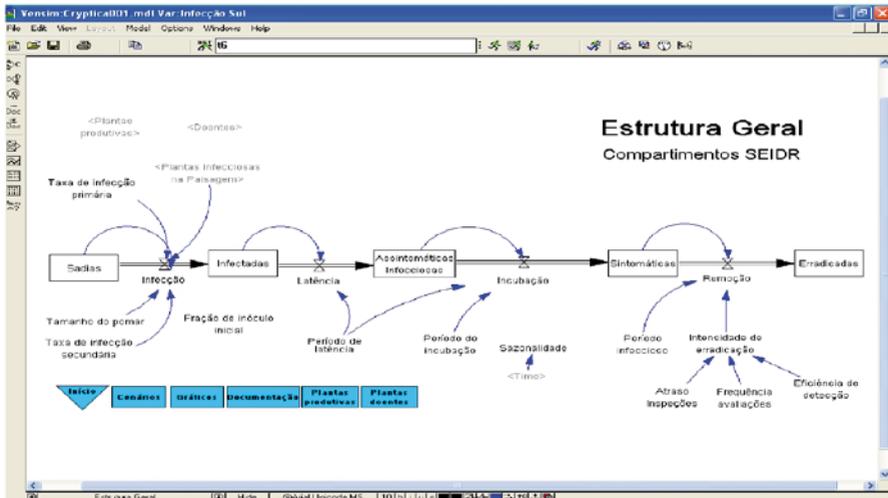
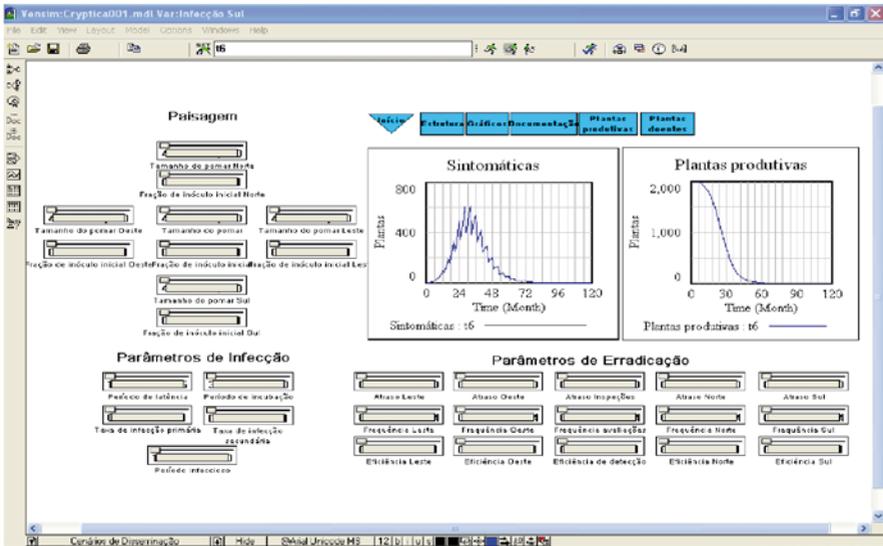


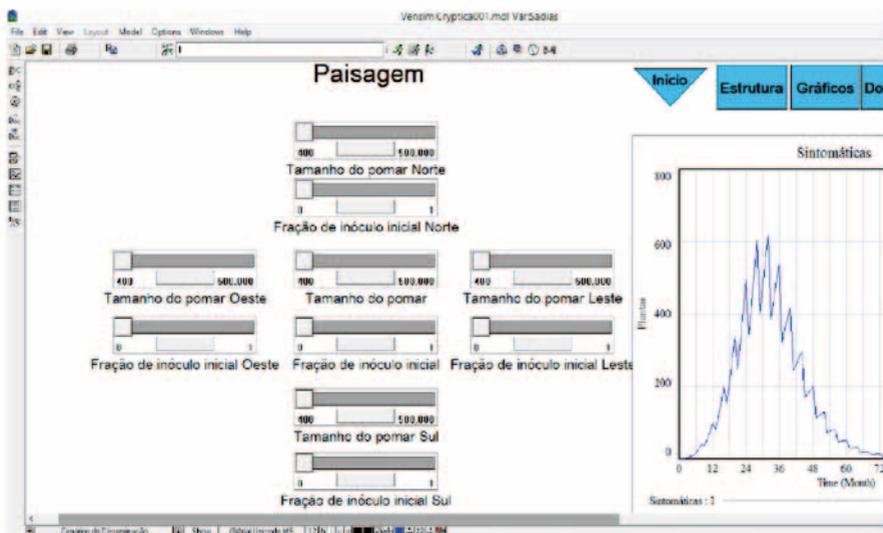
Figura 9. Vista da Estrutura Geral do Programa. Nessa vista, o usuário pode ver a estrutura de compartimentos (caixas retangulares), o fluxo entre compartimentos (setas pretas duplas), as taxas que regulam os fluxos (ampulhetas) e as diversas variáveis que influenciam as taxas (setas azuis). Abaixo da estrutura, encontram-se botões que, ao serem clicados, levam o usuário a outras vistas. A função desses botões, assim como sua presença, repetem-se em outras vistas do programa.



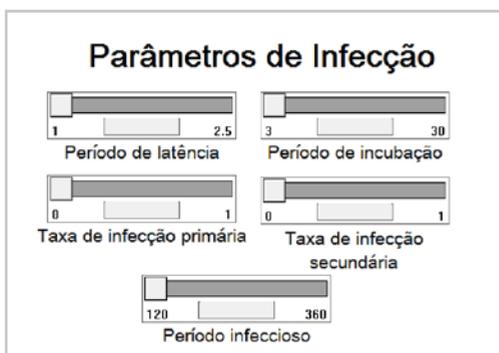
**Figura 10.** Vista dos Cenários de Disseminação do programa, com três conjuntos de parâmetros. É aqui que o usuário poderá fazer seus testes, visualizar resultados preliminares e, se quiser, gravar os resultados das simulações.

O primeiro conjunto de parâmetros são os da Paisagem (Figura 11). Para cada pomar, é possível escolher o tamanho do dito pomar e a fração de inóculo inicial. O tamanho pode variar de 400 a 500.000 plantas com *default* de 2000, e a fração do inóculo inicial vai de 0 a 1, com *default* de 0,001. A variação do tamanho permite que sejam simuladas situações com número médio de plantas por pomar em uma dada região, ou que sejam observados os efeitos em pomares pequenos cercados de grandes e vice-versa. A fração de inóculo é a proporção de plantas infectadas em cada pomar. Por exemplo, uma fração de 0,001 em um pomar de 2000 plantas indica que duas plantas são infecciosas no início da simulação. Esse parâmetro permite também a simulação da compra de um lote com  $n$  mudas infectadas. Note-se que, se for feita uma simulação com todas as frações de inóculo iguais a zero e taxa de infecção primária também igual a zero, nada vai acontecer. Ou seja, o usuário deve indicar onde as epidemias vão começar, se dentro dos pomares por meio de inóculo inicial, se via infecções primárias ou por efeito combinado.

O segundo conjunto é o de parâmetros de infecção (Figura 12). Esse conjunto, composto de cinco parâmetros, é a força motriz das epidemias a serem simuladas. Nesta primeira versão do programa, optou-se por fazer com que os parâmetros fossem únicos para toda a paisagem. Conforme mais dados biológicos sejam obtidos em experimentos de campo, será possível adaptar para que as taxas sejam específicas de cada pomar.



**Figura 11.** Detalhes dos parâmetros de paisagem na vista dos Cenários de Disseminação. Para cada pomar, é possível escolher o tamanho do dito pomar e a fração de inóculo inicial.



**Figura 12.** Detalhes dos parâmetros de infecção na vista dos Cenários de Disseminação.

O primeiro parâmetro de infecção é o período de latência e é medido em meses. Ele pode variar de 1 a 2,5 e significa o tempo decorrido desde a infecção até o momento em que a planta começa a efetivamente servir como fonte de inóculo. Para o HLB, ainda não há uma definição precisa, mas considera-se que ao menos um mês de latência é necessário.

O segundo parâmetro é o período de incubação, também medido em meses, e definido como o tempo entre a infecção e o aparecimento dos primeiros sintomas. Embora não influencie diretamente a quantidade de plantas infecciosas na paisagem, o período é crucial para qualquer programa de detecção e erradicação de plantas doentes. Para o HLB admite-se que pode variar de 3 a 24 meses, a depender das condições. O elemento complicador é que não se conhecem os fatores que aumentam ou diminuem o período de incubação. Observações em campo no Brasil indicam que aqui deve girar entre 6 e 12 meses.

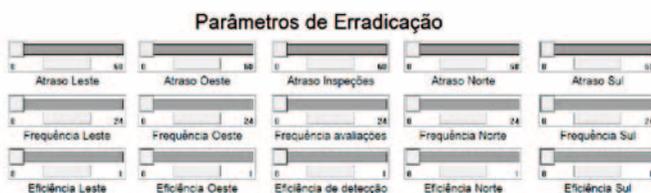
O terceiro parâmetro é o período infeccioso, também medido em meses. É o tempo que uma planta fica servindo como fonte de inóculo. No caso do HLB pode-se considerar o tempo entre a entrada no período infeccioso e a morte biológica natural da planta. Também, no caso do HLB, admite-se que tal tempo possa ser bastante longo.

O quarto parâmetro é a taxa de infecção primária. Ou seja, o número de plantas que são infectadas a cada mês em função de inóculo externo à paisagem simulada. No caso do HLB, pode-se pensar no número de plantas que são infectadas a cada mês por vetores vindos de outros pomares.

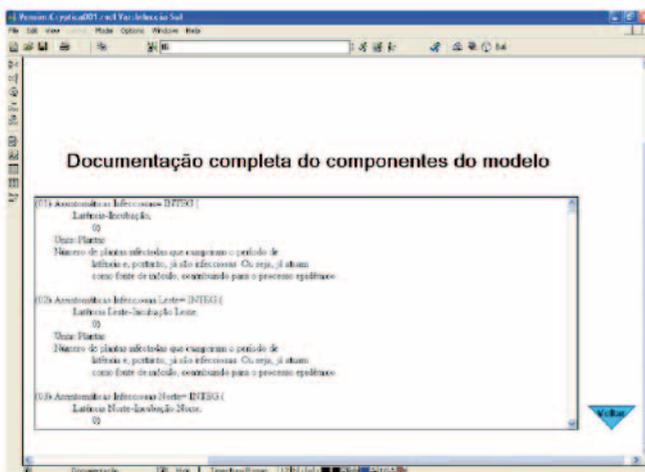
O quinto parâmetro é a taxa de infecção secundária, ou seja, o número de plantas infectadas a cada mês em função do inóculo interno à paisagem. Dessa forma, quanto mais plantas infecciosas na paisagem, maior será a influência dessa taxa. Deve-se fazer a ressalva de que tanto a taxa secundária quanto a primária não devem ser confundidas com as taxas aparentes de infecção geralmente estudadas em modelos epidemiológicos do tipo Monomolecular, Logístico e Gompertz.

O terceiro conjunto é composto pelos parâmetros de erradicação (Figura 13). São três parâmetros, mas cada um deles pode ser alterado

para cada um dos pomares da paisagem. O primeiro parâmetro é o atraso nas erradicações, o tempo entre a inspeção e a remoção das plantas sintomáticas. A frequência de inspeções é o segundo parâmetro, correspondendo a de quantos em quantos meses são feitas as inspeções. Deve-se lembrar que a lei brasileira determina que as inspeções devem ter frequência mínima trimestral. Por fim, o último parâmetro da erradicação é a eficiência de detecção, que pode variar de 0 a 1. No entanto, há relato de que a eficiência média é de cerca de 0,48, ou 48%. A combinação desses parâmetros vai determinar a intensidade de erradicação, que influencia diretamente a taxa de remoção de plantas sintomáticas (ver Estrutura Geral).



**Figura 13.** Detalhes dos parâmetros de paisagem na vista dos Cenários de Disseminação. Para cada pomar, é possível escolher o tamanho do dito pomar e a fração de inóculo inicial.

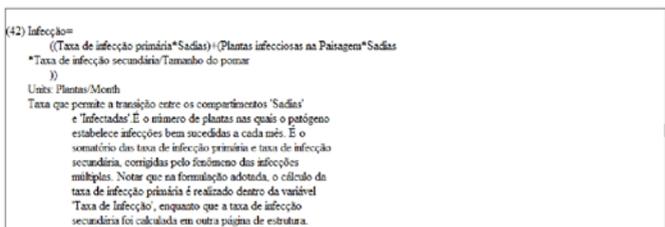


**Figura 14.** Vista com a documentação completa dos componentes do modelo.

Na vista Cenários de Disseminação, há também gráficos de número de plantas sintomáticas e de plantas produtivas em função do tempo. Assim como todos os outros resultados, esses gráficos referem-se ao pomar central ou pomar alvo da paisagem simulada. Por fim, assim como nas outras vistas, os botões azuis levam o usuário a outras partes do programa.

**Documentação.** Essa vista apresenta a documentação completa do modelo Cryptica. O usuário tem uma caixa de texto com uma barra de rolamento (Figura 14) que, quando acionada, mostra na caixa a descrição de cada elemento, cada um deles com uma numeração associada. Por exemplo, se o usuário rolar a barra até o número 42, terá acesso a informações sobre o elemento Infecção que controla o fluxo entre os compartimentos Sadias e Infectadas (Figura 15). É possível estudar a equação que compõe o elemento, ver em qual unidade ele é computado e ler sua descrição. *Árvores causais.* Nessa vista (Figura 16), são apresentadas relações entre elementos do modelo em termos de causa e efeito. São apresentadas as árvores mais relevantes, quais sejam, a de plantas sintomáticas e a de plantas erradicadas. O acesso a qualquer árvore causal (Figura 17) independe dessa vista. Basta que o usuário entre na vista Estrutura Geral, clique em qualquer elemento para selecioná-lo, e então clique no primeiro ícone (de cima para baixo) na barra vertical esquerda de ícones.

### Documentação completa do componentes do modelo



**Figura 15.** Detalhe da vista documentação com informações sobre o fluxo de infecção.

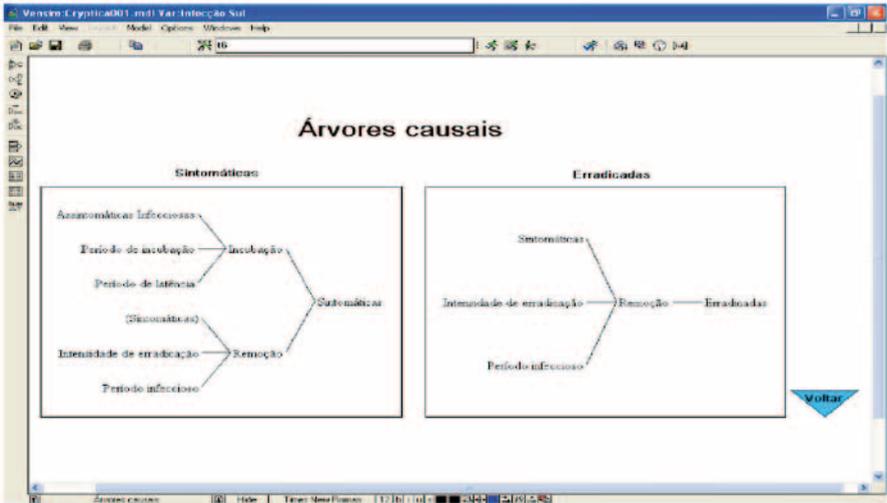


Figura 16. Vista Árvores Causais com relações entre elementos do modelo em termos de causa e efeito.

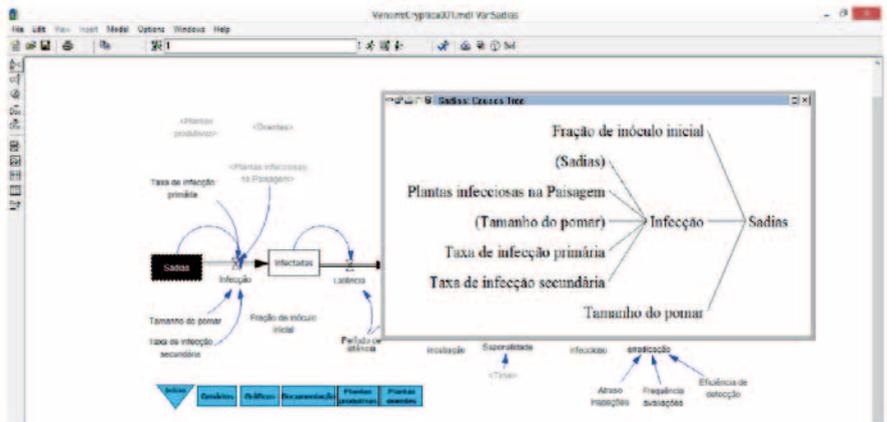


Figura 17. Acesso a uma árvore causal não listada na vista Árvores Causais. O ícone a ser clicado para acessar a árvore causal está Em destaque na barra vertical esquerda de ícones.

**Plantas infecciosas.** Essa vista é composta de duas partes (Figura 18). À direita, tem-se um diagrama que indica a composição da variável *plantas infecciosas na paisagem*. Essa variável traz o número de plantas que estão atuando como fonte de inóculo em toda a paisagem, sem discriminar em qual pomar eles estão. Ressalte-se ainda que são consideradas como infecciosas todas as plantas que já cumpriram o período de latência, mas que ainda não foram removidas, seja por *roguing*, seja por morte natural. Em outras palavras, são consideradas infecciosas todas as plantas dos compartimentos Assintomáticas Infecciosas e Sintomáticas de todos os pomares. No lado esquerdo da vista, o usuário tem um gráfico com a evolução de *plantas infecciosas na paisagem* ao longo do tempo simulado. Esse gráfico é sempre vinculado às simulações. Se elas foram removidas do programa (ver seção Simulando Epidemias), desaparecerão também dessa vista.

**Plantas produtivas.** Da mesma forma que a vista anterior, esta é formada por duas partes (Figura 19): gráfico e diagrama. O propósito também é o mesmo: apresentar informação mais detalhada sobre o compartimento em questão. Porém, enquanto a vista de plantas infecciosas traz dados de toda a paisagem, aqui o foco são as plantas produtivas que ainda restam no pomar central. O conceito de planta produtiva utilizado no Cryptica deve ser melhor esclarecido. Ainda não há consenso sobre quando uma planta infectada deixa de ser economicamente viável. Não se sabe ao certo qual o nível crítico de severidade nem quanto tempo leva para que isso ocorra. Diante dessa incerteza biológica, nesse modelo não foi incluída nenhuma medida de severidade. No Cryptica as plantas são sintomáticas ou não. Além disso, as normas brasileiras determinam que todas as plantas sintomáticas devem ser erradicadas independentemente da intensidade de sintomas. Portanto, ainda que biologicamente produtiva, uma planta sintomática é “legalmente” improdutiva. Assim, planta produtiva no Cryptica é toda planta que ainda não manifestou sintomas e, portanto, seu total é o somatório dos compartimentos Sadias, Infectadas e Assintomáticas Infecciosas.

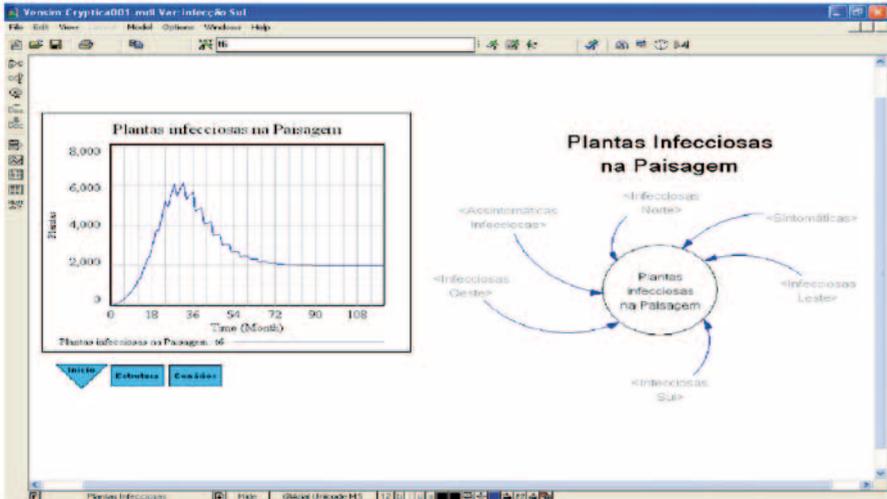


Figura 18. Vista com estrutura e resultados de Plantas Infecciosas na paisagem.

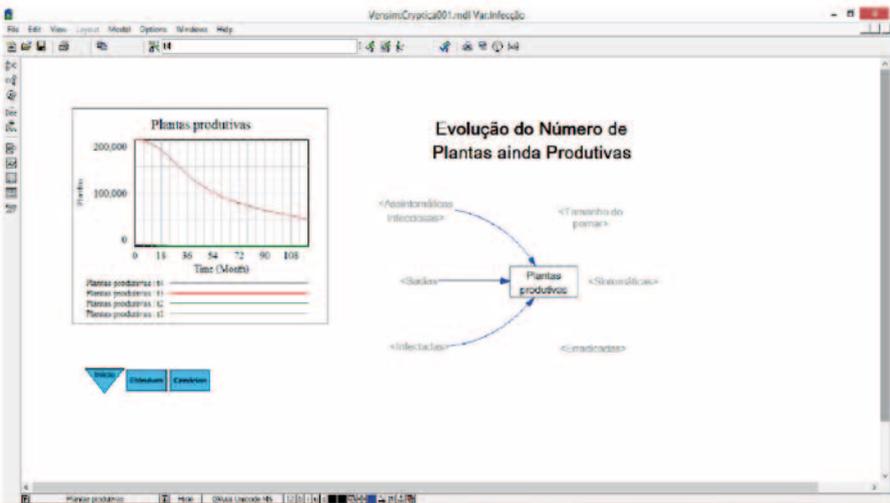


Figura 19. Vista com estrutura e resultados de Plantas Produtivas remanescentes no pomar central.

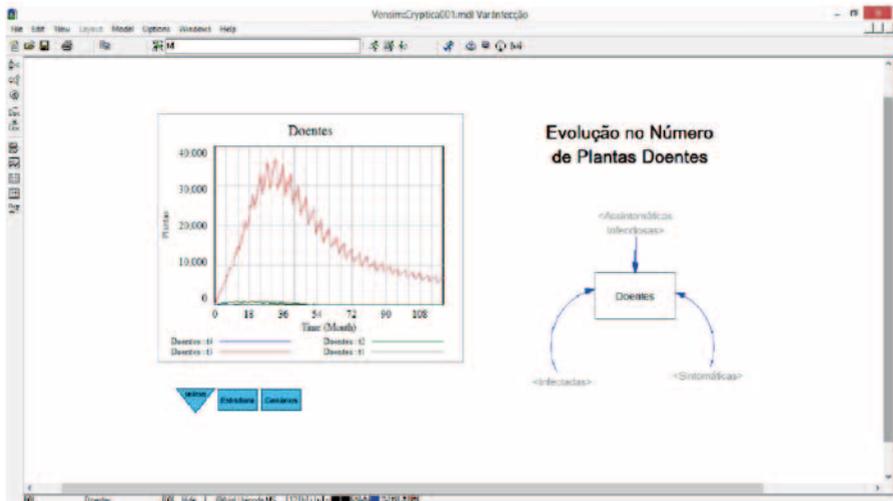
**Plantas doentes.** Essa vista tem o mesmo conceito da anterior (Figura 20), apresentando detalhes agora do número de plantas doentes no pomar central. Não pode haver confusão entre plantas doentes e plantas sintomáticas. No Cryptica, são consideradas doentes todas as plantas que hospedam o agente causal. Em outras palavras, plantas doentes são o somatório de plantas Infectadas que ainda estão em latência, com plantas Assintomáticas Infectuosas, com plantas Sintomáticas.

**Vizinho Norte.** Estrutura da sub-epidemia no pomar ao norte do pomar alvo (Figura 21).

**Vizinho Sul.** Estrutura da sub-epidemia no pomar ao sul do pomar alvo (Figura 22).

**Vizinho Leste.** Estrutura da sub-epidemia no pomar ao leste do pomar alvo (Figura 23).

**Vizinho Oeste.** Estrutura da sub-epidemia no pomar ao oeste do pomar alvo (Figura 24).



**Figura 20.** Vista com estrutura e resultados de Plantas Doentes no pomar central.

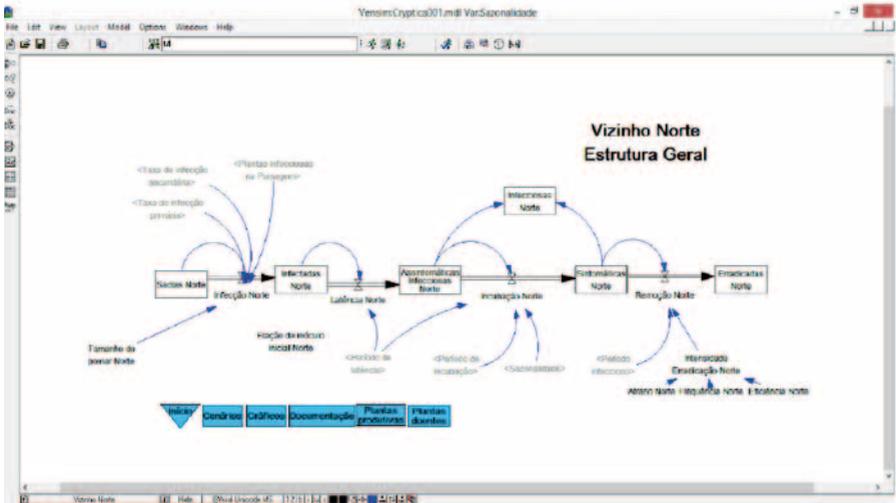


Figura 21. Estrutura da subepidemia no pomar ao Norte do pomar alvo.

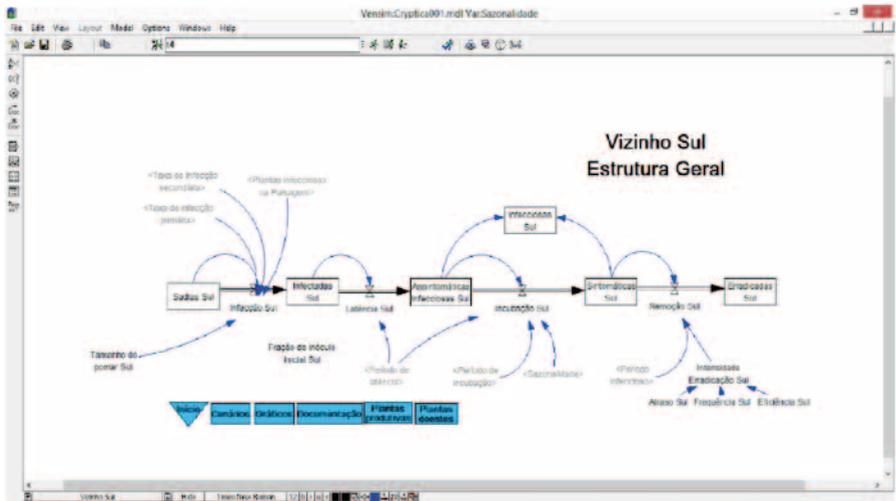


Figura 22. Estrutura da subepidemia no pomar ao Sul do pomar alvo.

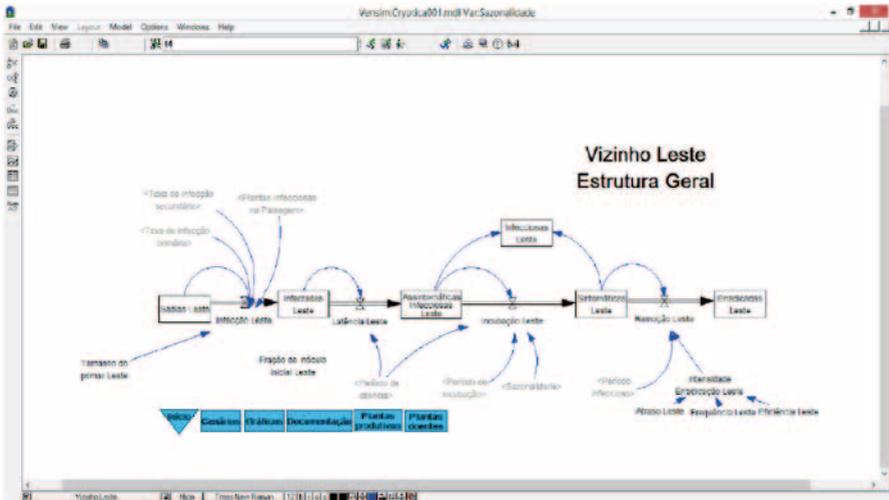


Figura 23. Estrutura da subepidemia no pomar ao Leste do pomar alvo.

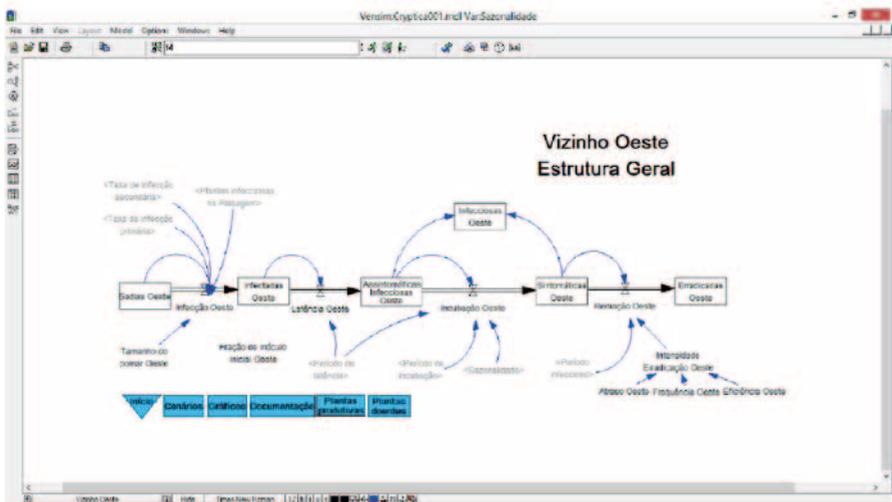
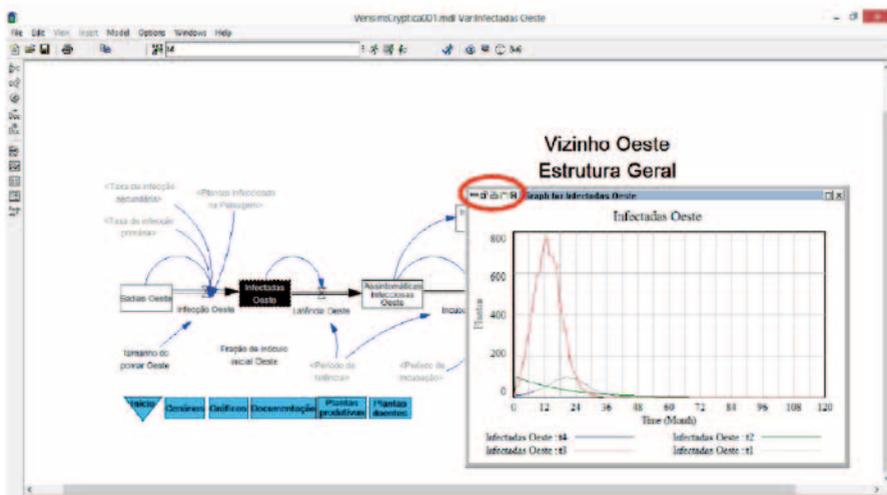


Figura 24. Estrutura da subepidemia no pomar a Oeste do pomar alvo.

Em todos os pomares vizinhos, a interpretação dos compartimentos, fluxos, taxas e influências é a mesma da Estrutura Geral. Note-se apenas a criação do compartimento extra de plantas Infectiosas, usado para facilitar a integralização do número de plantas infectiosas na paisagem.

Caso seja necessário verificar resultados específicos para qualquer compartimento de qualquer vizinho, basta que o usuário selecione o compartimento e clique em um dos ícones da barra vertical esquerda de ícones. No exemplo (Figura 25), o compartimento Infectadas Oeste foi selecionado e clicou-se no ícone de gráfico, quarto de baixo para cima da barra vertical. Note que esse gráfico possui, no canto superior esquerdo, opções para impressão ou gravação em formato wmf.



**Figura 25.** Verificação de resultados na forma de gráficos em vizinho do pomar central. Circulados em vermelho estão os ícones de acesso a impressão e gravação.

Os resultados também podem ser vistos como dados numéricos (Figura 26). Nesse caso, o procedimento é o mesmo do exemplo anterior, mas clica-se no segundo ícone de baixo para cima. Da mesma forma que o gráfico, a tabela apresenta opções para impressão ou gravação em formato txt. Esses dados podem ser usados, por exemplo, para confeccionar gráficos em outros programas mais ao gosto do usuário. Uma ressalva importante é que tanto nos parâmetros quanto nos gráficos e tabelas usa-se o ponto (.) para separar a parte decimal dos números.

**Resultados detalhados: Gráficos.** Nesta vista (Figura 27), o usuário pode verificar os gráficos de todos os compartimentos do pomar central e mais a evolução no número de plantas doentes. A grande vantagem de acessar esses resultados é poder ver numa mesma tela e simultaneamente o que aconteceu com cada compartimento. Isso facilita a análise dos cenários e dá ao usuário a chance de aprofundar seus conhecimentos. Cada um desses gráficos pode ser facilmente exportado. Basta clicar para selecionar o que se quer, em seguida clicar em *Edit* no menu principal e selecionar *Copy* no menu *dropdown*. O gráfico estará na memória do computador, da qual poderá ser colado em qualquer documento.

Ainda mais simples é clicar para selecionar o gráfico desejado, acionar CTRL + C e depois CTRL + V para colá-lo onde quiser.

**Resultados detalhados: Tabelas.** Essa vista é a versão em tabelas da vista de resultados em gráficos. Da mesma forma que com os gráficos, é possível copiar e colar as tabelas (Figura 28).

**Sobre o Cryptica.** Nessa vista são dadas informações sobre o autor do programa, projeto sob o qual o programa foi criado e sobre o financiamento (Figura 29). São também mostrados os logotipos do projeto e da Embrapa, além do endereço para contato.

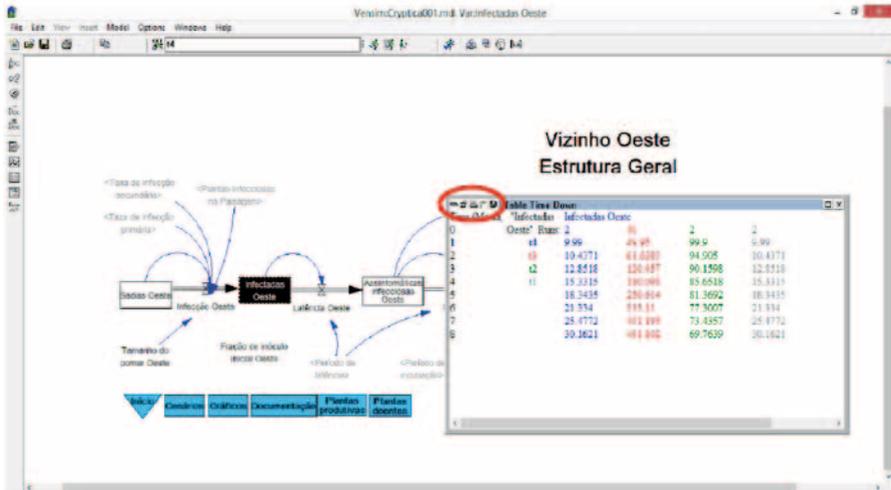


Figura 26. Verificação de resultados na forma de tabela em vizinho do pomar central. Circulados em vermelho estão os ícones de acesso a impressão e gravação.

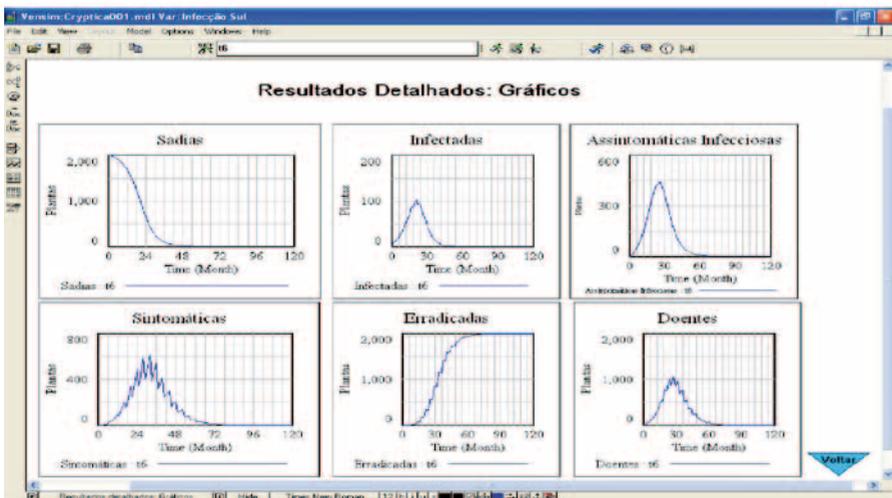


Figura 27. Vista de Resultados detalhados: Gráficos. Nesta vista, o usuário pode verificar os gráficos de todos os compartimentos do pomar central, mais a evolução no número de plantas doentes.

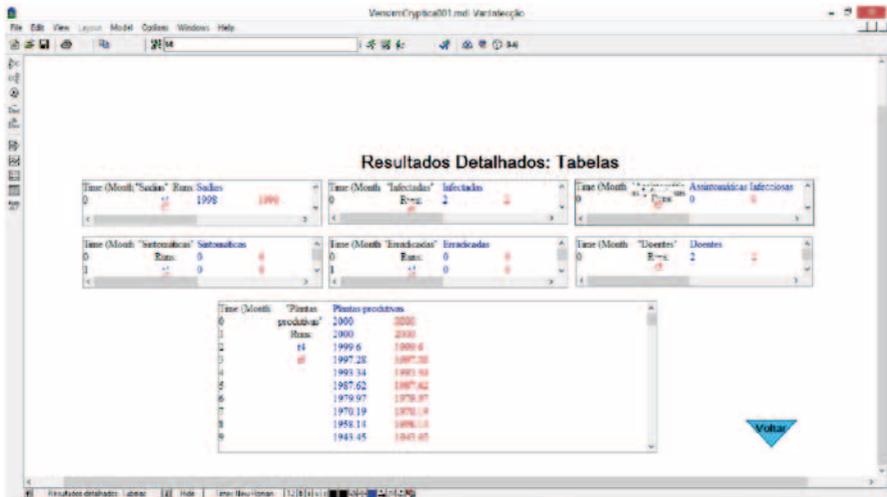


Figura 28. Vista de Resultados detalhados: Tabelas. Nesta vista, o usuário pode verificar os resultados numéricos de todos os compartimentos do pomar central, mais a evolução no número de plantas doentes e de plantas produtivas.

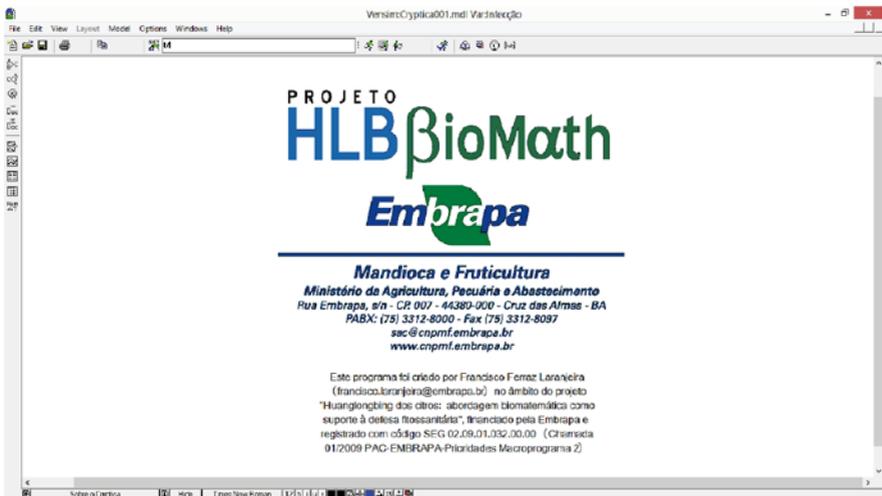
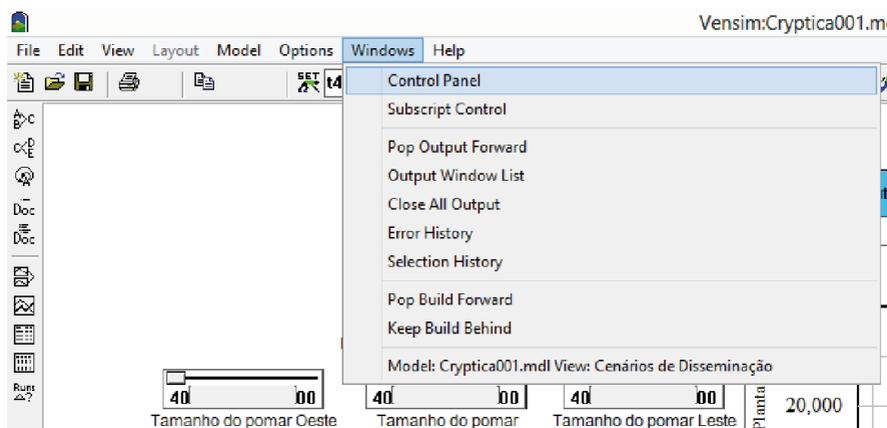


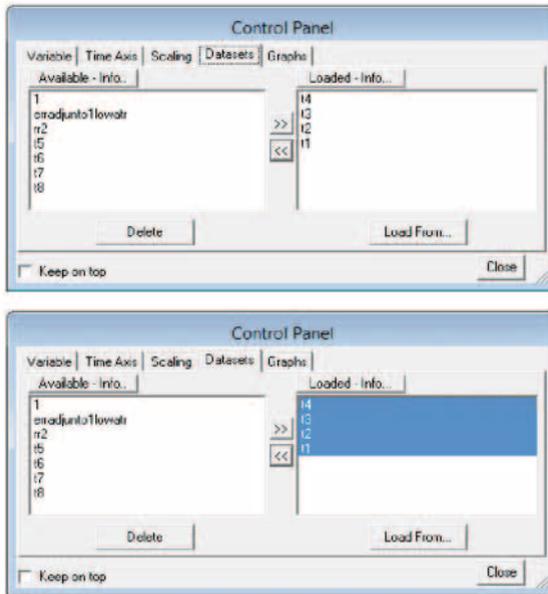
Figura 29. Vista com informações sobre criação, financiamento e contato do programa Cryptica.

## Simulando epidemias

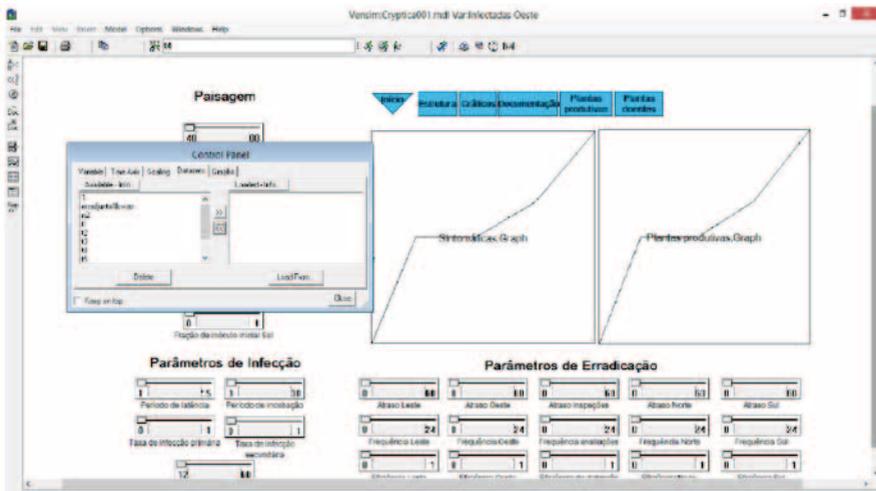
O primeiro passo para fazer as simulações é limpar a memória do programa de eventuais simulações anteriores. Para isso, acesse o painel de controle do Vensim Model Reader. Há duas formas: clique no ícone que parece um velocímetro na barra de ícones horizontal superior (sendo da direita para esquerda) ou selecione *Windows* no menu principal e depois *Control Panel* (Figura 30). De uma forma ou de outra, será aberta uma caixa (Figura 31A) com várias abas; caso não esteja selecionada, selecione a aba *Datasets* (em destaque na Figura 31A). Na caixa *Loaded-Info*, selecione as simulações atuais (Figura 31B) e clique no ícone “<<” entre as duas caixas. Veja que sumiram todas as simulações nos gráficos (Figura 32). Se quiser apagar definitivamente as simulações, basta selecioná-las na caixa *Available-Info* e clicar no botão *Delete*. Feche a caixa no *Control Panel* e acesse a vista *Cenários de Disseminação*.



**Figura 30.** Acesso ao painel de controle do *Vensim Model Reader* para limpeza de memória no início das simulações.

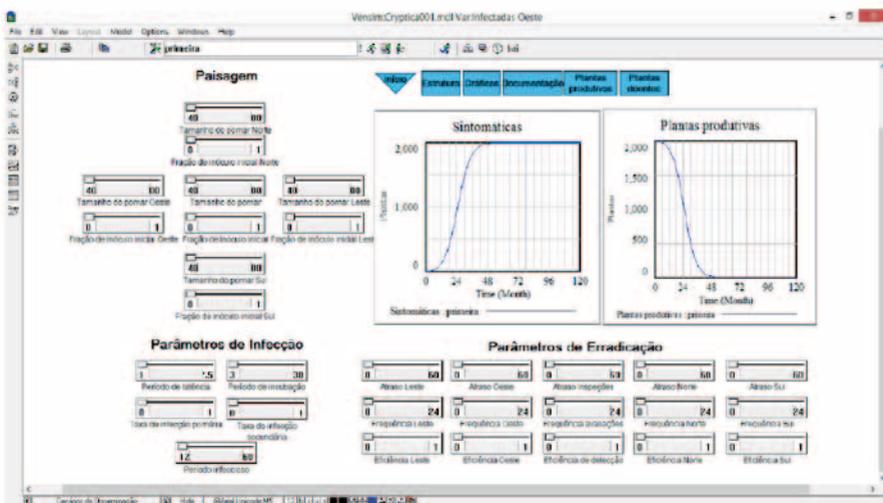


**Figura 31.** Caixa do painel de controle com destaque da aba *Datasets* (A) e após a seleção das simulações a serem removidas (B).



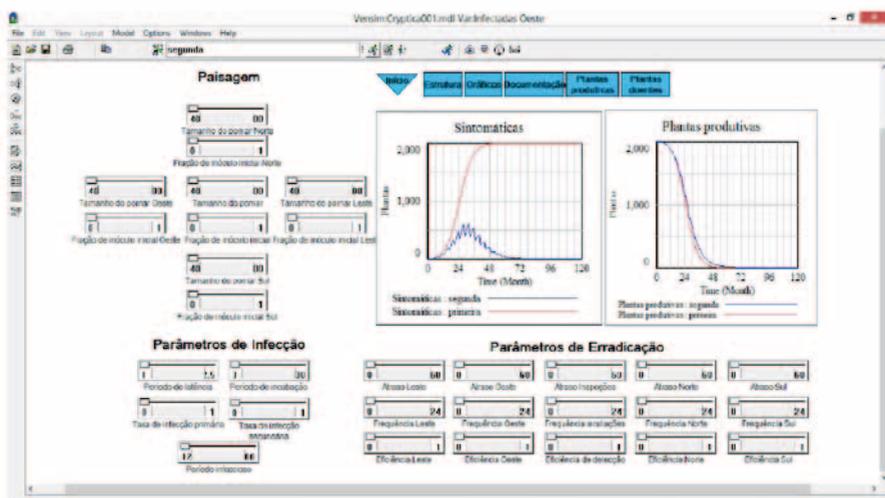
**Figura 32.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação e do painel de controle após serem removidas algumas simulações.

A barra superior do *Vensim Model Reader* localiza-se logo abaixo do menu principal. Nessa barra localize o ícone com a palavra *Set* e um bonequinho pronto para iniciar uma corrida. Ao clicar nesse ícone, o programa abre a alteração dos parâmetros das simulações. Mas, antes, dê um nome a qualquer à primeira simulação, digamos, “primeira”. Para isso, clique na caixa de texto ao lado do ícone *Set* e digite. Nessa primeira simulação, vamos considerar que nenhum tipo de controle é realizado. Então vá aos parâmetros de erradicação (Figura 13) e, para cada pomar, deslize o botão de Eficiência até chegar a zero. Como alternativa, pode-se clicar sobre cada parâmetro e digitar. Não precisa alterar mais nada. Agora basta clicar no ícone ao lado direito da caixa onde você digitou o nome da simulação. Ao pousar o ponteiro do mouse nesse ícone, aparecerá o texto *Run a Simulation*. Se tudo deu certo, a vista será como observado na Figura 33.



**Figura 33.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após a “primeira” simulação sugerida no manual do Cryptica. Essa simulação traz resultados de uma epidemia sem qualquer tipo de controle.

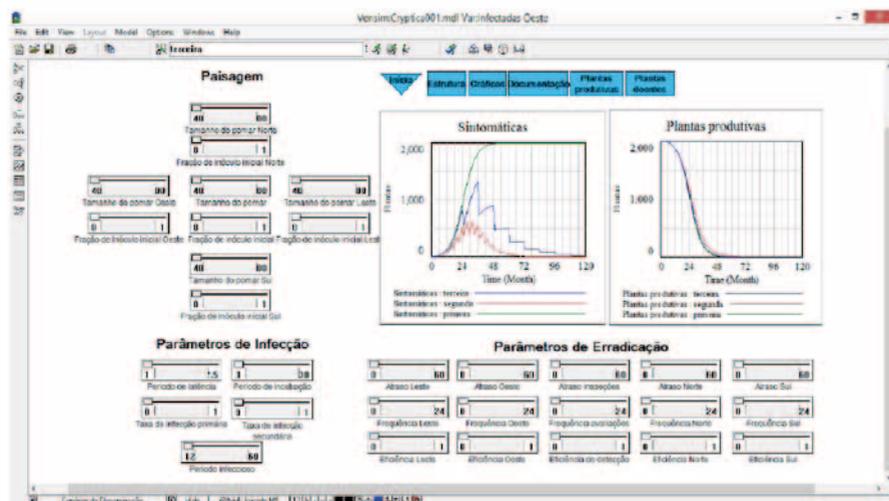
Clique novamente no ícone *Set*. Veja que todos os parâmetros voltam aos valores originais. É muito importante ficar atento a isso, pois, para cada simulação, todos os parâmetros que se quer alterar precisam ser indicados. Muito bem, estamos prontos para a segunda simulação. O ícone *Set* já foi clicado, agora indique ao programa o nome desejado. Que tal «segunda»? Desta vez, não precisa alterar nada, basta clicar no ícone do corredor (*Run a Simulation*). Tudo dando certo, o resultado deve ser como mostrado na Figura 34. Note que as simulações vão ganhando cores diferentes, mas a mais nova é sempre azul. O gráfico de Sintomáticas ficou diferente, não? Isso pois, agora, nós simulamos inspeções e erradicações de quatro em quatro meses.



**Figura 34.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após a “segunda” simulação sugerida no manual do Cryptica. Essa simulação usou os mesmos parâmetros da primeira, com exceção da erradicação que foi feita de quatro em quatro meses. Notar que à simulação mais recente sempre é atribuída a cor azul.

Para nossa «terceira» simulação, acho que você já sabe preparar (*Set*) e dar nome, certo? Altere apenas a frequência das inspeções. Coloque 12 em todos os pomares. A vista agora deve ficar como na Figura 35. Veja que há grandes alterações no gráfico de plantas Sintomáticas, mas quase nenhuma diferença na diminuição do número de plantas

produtivas. Isso indica que, pelo menos para o tamanho dos pomares usado nessas simulações (2000 plantas), apenas erradicar as plantas sintomáticas não resolverá o problema.

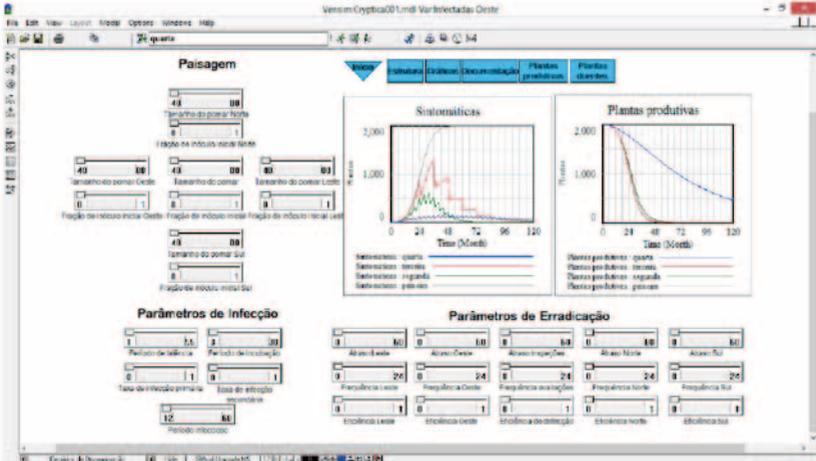


**Figura 35.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após a “terceira” simulação sugerida no manual do Cryptica. Para essa simulação, alterou-se apenas a frequência de inspeções e erradicação que passou a ser anual.

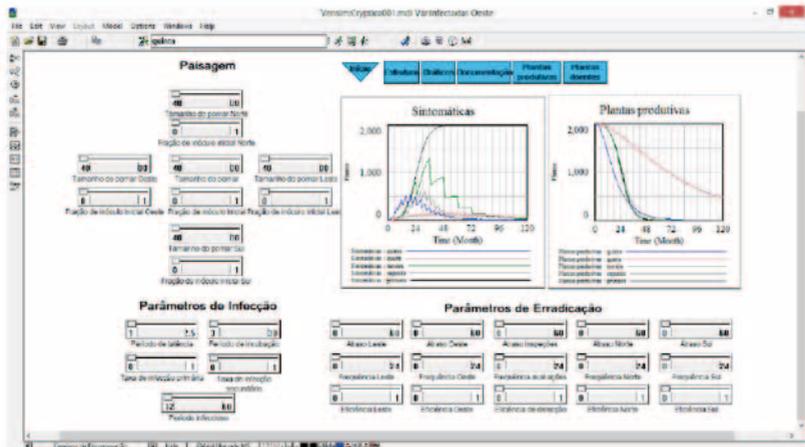
Agora, para nossa “quarta” simulação, vamos fazer algo radical. Vamos manter todos os parâmetros como originais, com exceção da taxa de infecção secundária. Para esse parâmetro, coloço o valor de 0.01. Essa alteração pode ser entendida como uma redução na população de vetores dentro da paisagem. Quando você clicar no ícone do corredor, verá a Figura 36.

Para a “quinta” simulação, modifique a taxa de infecção secundária para 0.01 e a taxa de infecção primária para 0.05. Essa alteração pode ser entendida como uma redução na população de vetores internas à paisagem (redução da taxa Infecção Secundária), mas a uma maior migração de vetores de fora para dentro da paisagem (aumento da taxa de infecção primária). Veja o resultado disso (Figura 37). A curva azul

de plantas produtivas voltou a diminuir rapidamente. Ou seja, mesmo controlando os vetores, a epidemia ganhou força em função do inóculo que veio de fora.

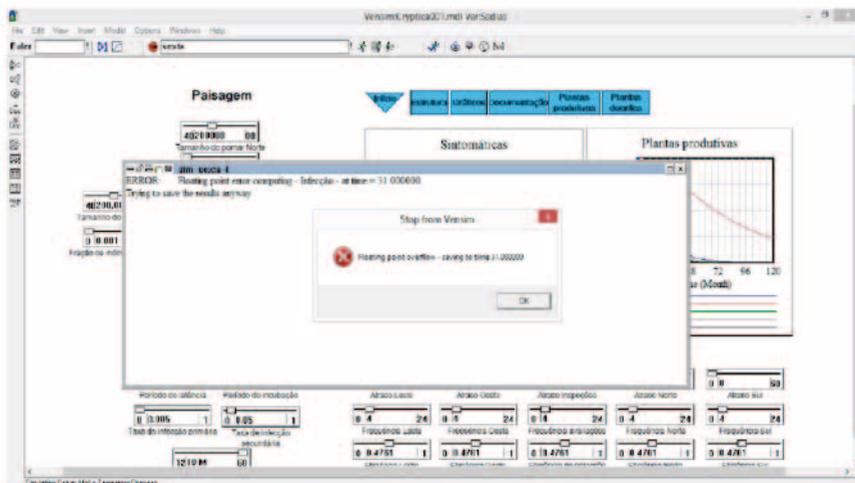


**Figura 36.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação, após a “quarta” simulação sugerida no manual do Cryptica. Para essa simulação, a frequência de inspeções e erradicação foi quadrimestral, mas reduziu-se a taxa de infecção secundária de 0,05 para 0,01.



**Figura 37.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após a “quinta” simulação sugerida no manual do Cryptica. Para essa simulação, a frequência de inspeções e erradicação foi quadrimestral, reduziu-se a taxa de infecção secundária de 0,05 para 0,01, mas aumentou-se a taxa de infecção primária para 0,05.

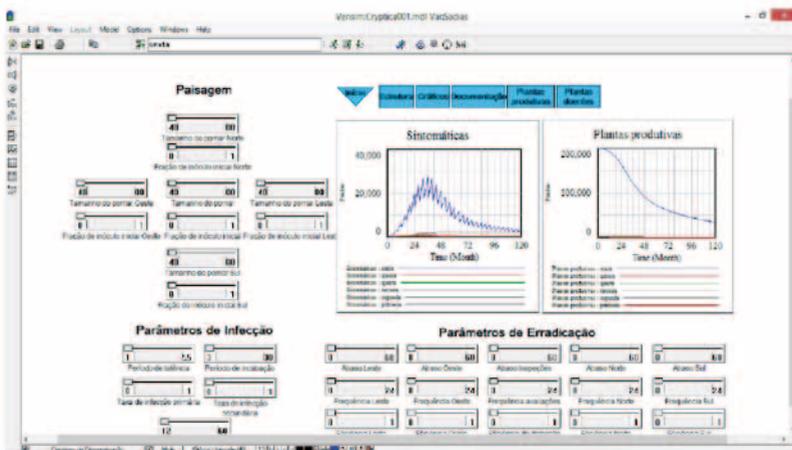
Vamos agora fazer uma “sexta” simulação, alterando o tamanho dos pomares. Após clicar em *Set*, coloque o nome “sexta” e mude o tamanho dos pomares vizinhos. Em todos eles, com exceção do pomar central, coloque 200.000 plantas e clique no ícone do corredor. Se tudo deu certo, algo deu errado e você agora está vendo algo como na Figura 38. O que ocorreu é que o modelo é sensível a parâmetros extremos. Nesse caso específico, havia muitas plantas nos vizinhos, então, com as taxas usadas, a pressão de inóculo no pomar central foi muito alta. Ou seja, o número de infecções a ocorrer excedeu a capacidade do pomar. Quando isso acontece de maneira muito rápida, o programa entra em conflito e aparece a mensagem de erro da Figura 38. Na grande maioria das vezes, essa mensagem de erro vai aparecer quando forem usados cenários pouco realistas ou extremos. Se a diferença de tamanho entre os pomares for de até 25 vezes, esse erro não deve ocorrer.



**Figura 38.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após simulação com parâmetros de valores irreais ou incompatíveis com a capacidade do programa.

Para nos livrarmos dessa simulação desastrosa, é só repetir o processo de “limpeza” via painel de controle, mas eliminando apenas a “sexta” simulação. Agora que a retiramos, os gráficos voltam ao normal com as cinco primeiras simulações. Nossa última tentativa vai usar o mesmo nome de antes (“sexta”), mas agora você vai alterar o tamanho de TODOS os pomares. Coloque 200.000 plantas no pomar central e 20.000 em cada um dos vizinhos. A ideia é simular a epidemia em uma região maior. Não altere mais nada, apenas o tamanho dos pomares e então clique no ícone do corredor. Se o programa abrir uma caixa intitulada *Question from Vensim*, clique no botão “Sim”. Ele apenas está informando que já existe uma simulação com o nome “sexta” e pergunta se você quer gravar por cima.

Aos resultados, então. Note que todas as outras simulações aparentemente desaparecem (Figura 39), mas isso é apenas um efeito da mudança de escala no eixo y. O resultado mais importante está no gráfico de plantas produtivas. Pode-se perceber que a redução no número de plantas produtivas é mais suave do que anteriormente observado. Mesmo após 120 meses, ainda há um bom número de plantas produtivas no pomar central. Mas como, se você só alterou o tamanho dos pomares? Esse efeito de “diluição” das infecções explica grande parte do sucesso do controle regional do HLB no Estado de São Paulo.



**Figura 39.** Aspecto da vista Cenários de Disseminação após a “sexta” simulação sugerida no manual do Cryptica. Os parâmetros usados são iguais aos da “segunda” simulação, exceto o tamanho dos pomares, muito maiores.

## Considerações finais

O modelo e o programa foram extensivamente verificados, mas não foram validados. O que significa isso? Significa que não foi possível comparar os resultados do modelo com os resultados de campo conhecidos. O motivo disso é o mesmo que levou ao desenvolvimento do programa: impossibilidade de realização de experimentos controlados o suficiente para que permitissem a determinação de parâmetros específicos. Por exemplo, seria possível conduzir experimento no qual se conhecesse frequência e até eficiência de erradicação. No entanto, como determinar o período de incubação e taxas primária e secundária de infecção? Existem métodos matemáticos avançados para estimativa de tais parâmetros, mas sempre limitados à manutenção das plantas sintomáticas em campo. Essa situação não seria possível de acordo com a atual legislação brasileira.

Entretanto, os parâmetros e a faixa de valores usados no Cryptica são absolutamente compatíveis com o que se conhece até o momento sobre o ciclo do HLB. Isso permite que o usuário simule uma gama de cenários impossíveis de serem testados em campo. Colocando isso em termos populares, o usuário pode se perguntar a todo instante: “E se a taxa for diferente?” ou “E se o período de incubação for maior?”.

A análise comparativa de cenários e o uso didático são os objetivos do Cryptica. Ou seja, deve ser usado como apoio para tomadas de decisão ou para desenvolvimento de planos de contingenciamento gerais. Apesar de sua flexibilidade, há coisas para as quais ele NÃO é indicado. Por exemplo, seus resultados não podem ser usados para ações legais em situações específicas, pois não é um modelo de previsão. Além disso, por se tratar de um modelo determinístico, os resultados representam a MÉDIA do que seria observado com os parâmetros usados. Ou seja, nos resultados não é mostrada toda a variabilidade que pode ser observada em situações de campo. Além disso, como não é considerada a distância entre as plantas sadias e infecciosas, não é possível obter informação sobre onde estariam as plantas infectadas em cada pomar virtual.

Certas variáveis não foram consideradas nessa versão do Cryptica, mas certamente serão incluídas no futuro: sazonalidade, idade das plantas, severidade. É sabido, por exemplo, que a expressão de sintomas tem uma periodicidade de cerca de seis meses no Estado de São Paulo. Também tem sido feitos estudos sobre o efeito da idade das plantas na expressão de sintomas e severidade. À medida que mais dados da biologia da doença forem descobertos e confirmados, será possível fazer atualizações e melhorias no modelo e no programa.

O desenvolvimento e distribuição desse *software* está de acordo com a licença do fabricante do *VenSim*. O desenvolvedor do *software* possui licença de uso para a versão *VenSim PLE Plus* para pesquisa pública (*Public Research*). Essa licença (*Ventana Systems 2004*) permite uso restrito ao desenvolvimento de modelos para pesquisa com resultados publicamente disponíveis e é condicionada aos seguintes itens: (a) usar o *software* apenas para trabalhos a serem publicados ou disponibilizados publicamente por outros meios; (b) todos os modelos e documentação eletrônica de suporte usados com o *software* devem ser publicamente disponíveis sem cobrança de taxas além de eventuais despesas de envio; (c) todos os modelos devem ser publicamente disponibilizados sem restrição de uso; (d) o *software* não pode ser usado em pesquisa sigilosa; (e) o *software* não pode ser usado em qualquer pesquisa na qual os resultados completos não sejam publicamente disponibilizados; e (f) o uso do *software* com dados sigilosos é permitido apenas quando todos os resultados são relatados de forma consistente com os padrões dos periódicos científicos com revisão por pares.

## Referências

IBGE. Sistema, IBGE de Recuperação Automática -SIDRA. 2008. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>>

IN 53. Instrução Normativa MAPA N°53>. Acesso em: 16 out. 2008

VENTANA Systems, Inc. Licence (Vensim). [Software]. Harvard, MA. 2004.





---

*Mandioca e Fruticultura*

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 12510