

# Epidemiologia do *Huanglongbing* dos Citros

Francisco Ferraz Laranjeira



**Embrapa**

---

**Mandioca e Fruticultura**

 **CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico



# Huanglongbing: doença do ramo amarelo





# Bactéria fastidiosa limitada ao floema

*Candidatus Liberibacter* spp.

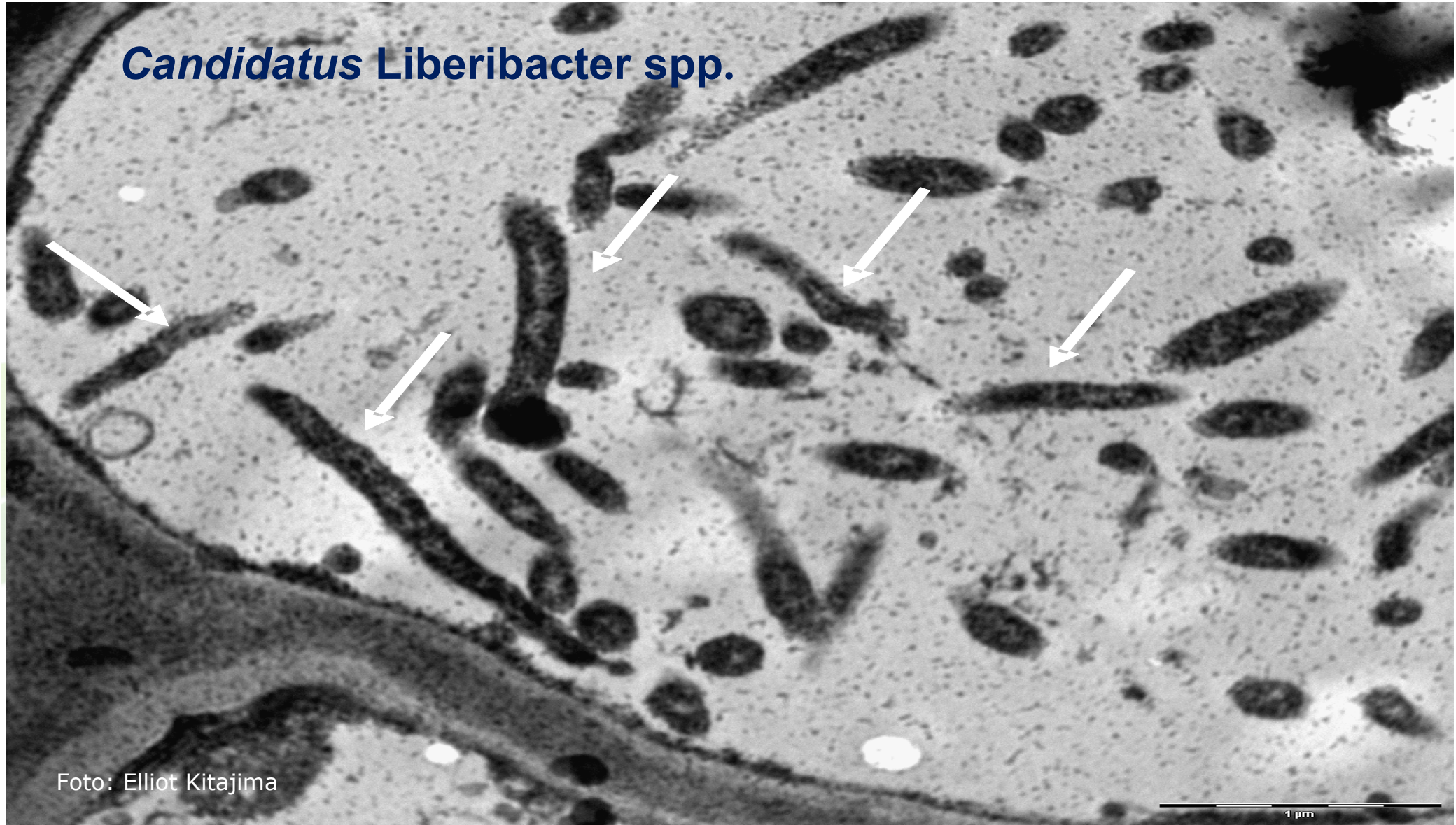


Foto: Elliot Kitajima

1 µm



# Psilídeo é o vetor: relação persistente

*Diaphorina citri*



Foto: Francisco Laranjeira



Foto: IIFT, Cuba



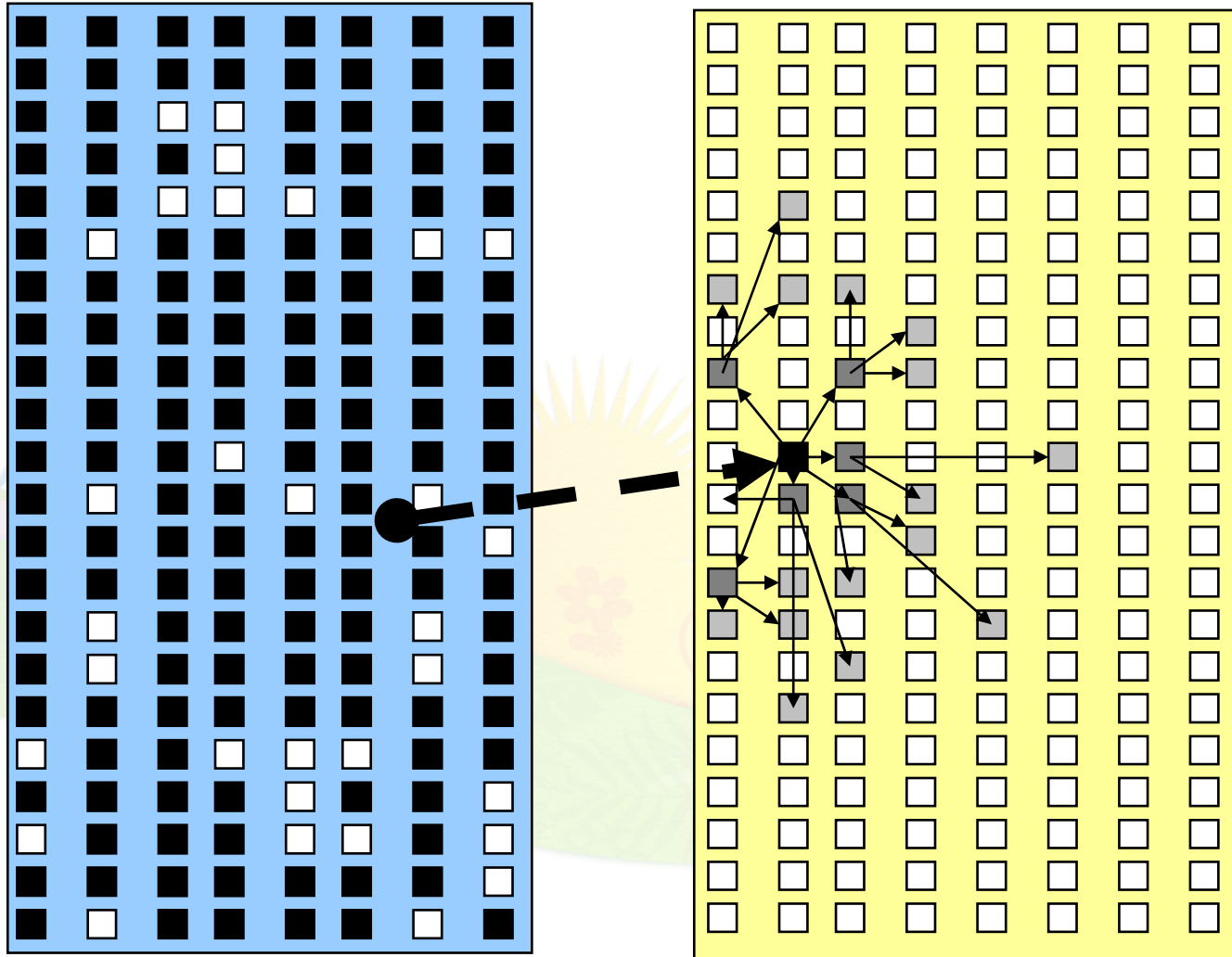
# Mosqueado assimétrico é característico



Foto: Francisco Laranjeira

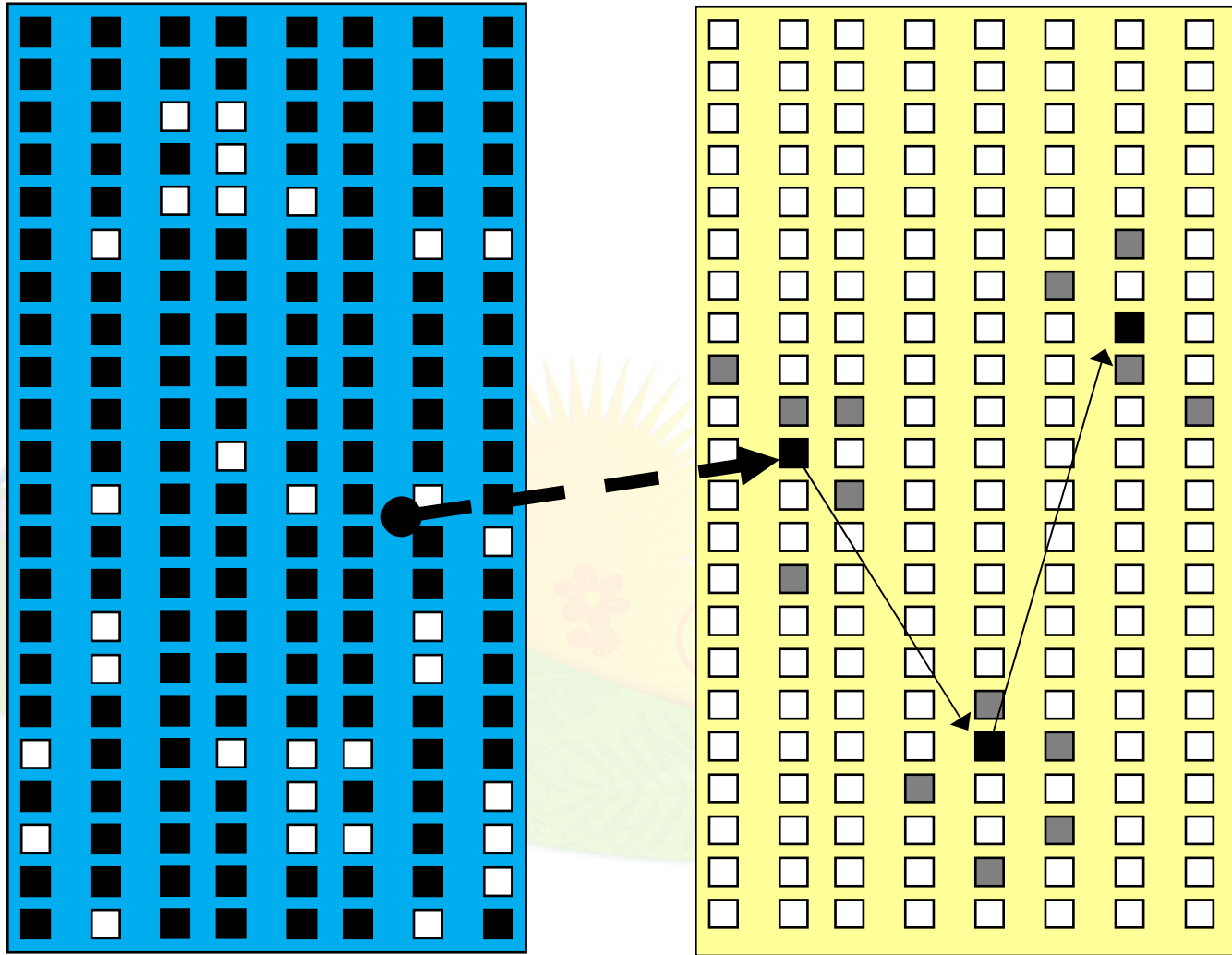


# Transmissão por vetores residentes ou imigrantes





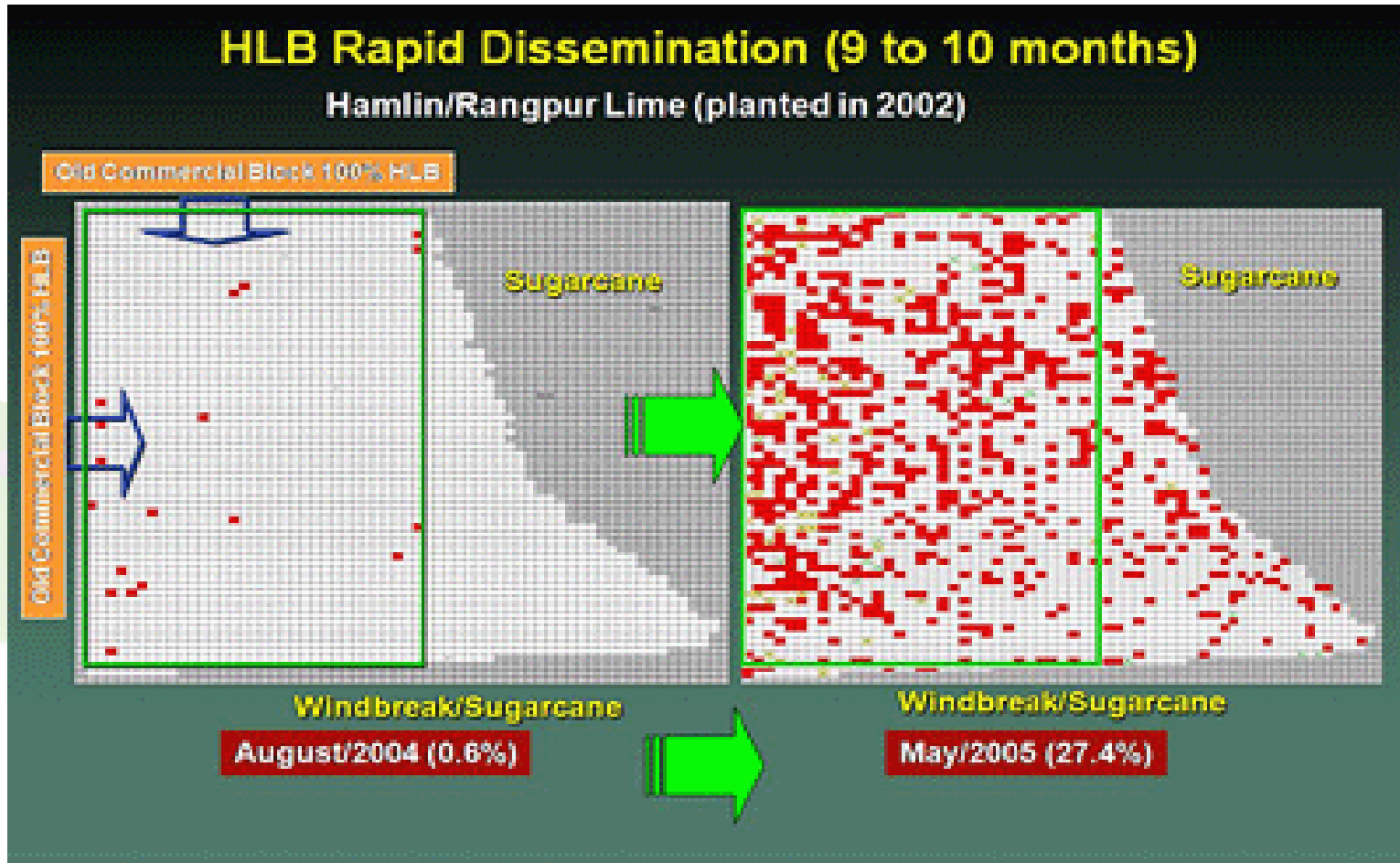
# Focos menos compactos, erradicação mais lenta





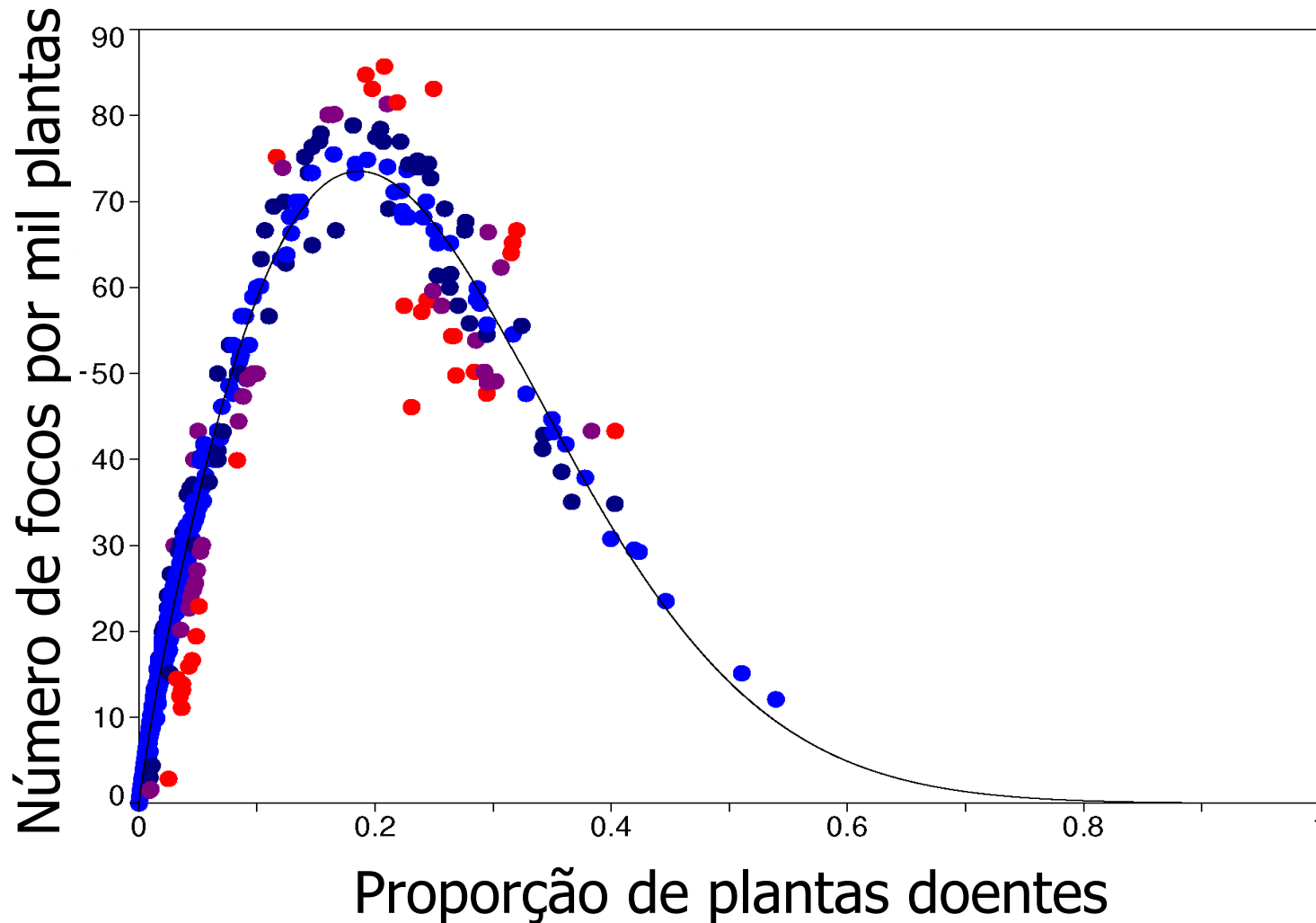
# Focos menos compactos, erradicação mais lenta

Gottwald et al (2007)



# Número de focos mais importante que tamanho

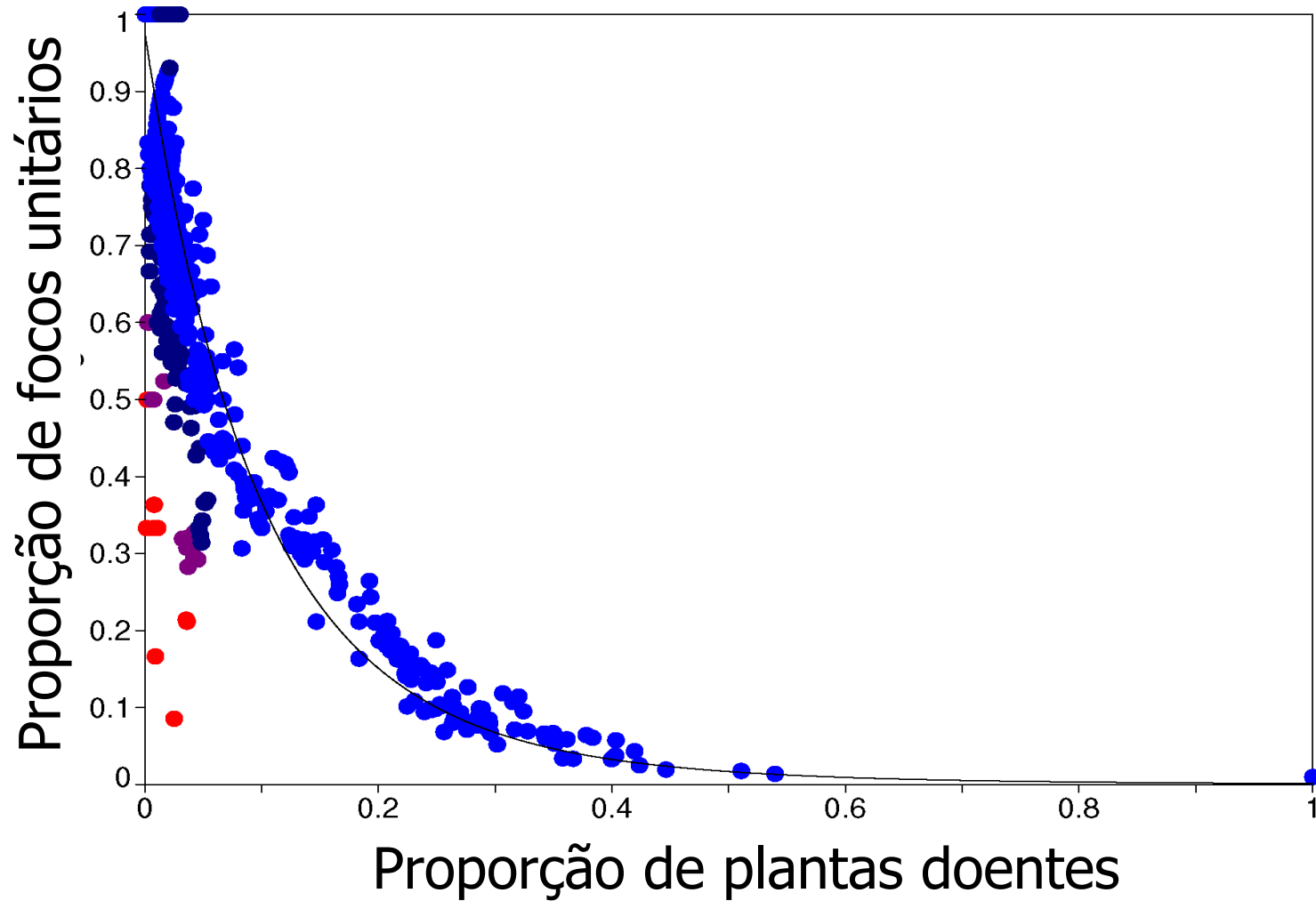
Laranjeira et al (2010)



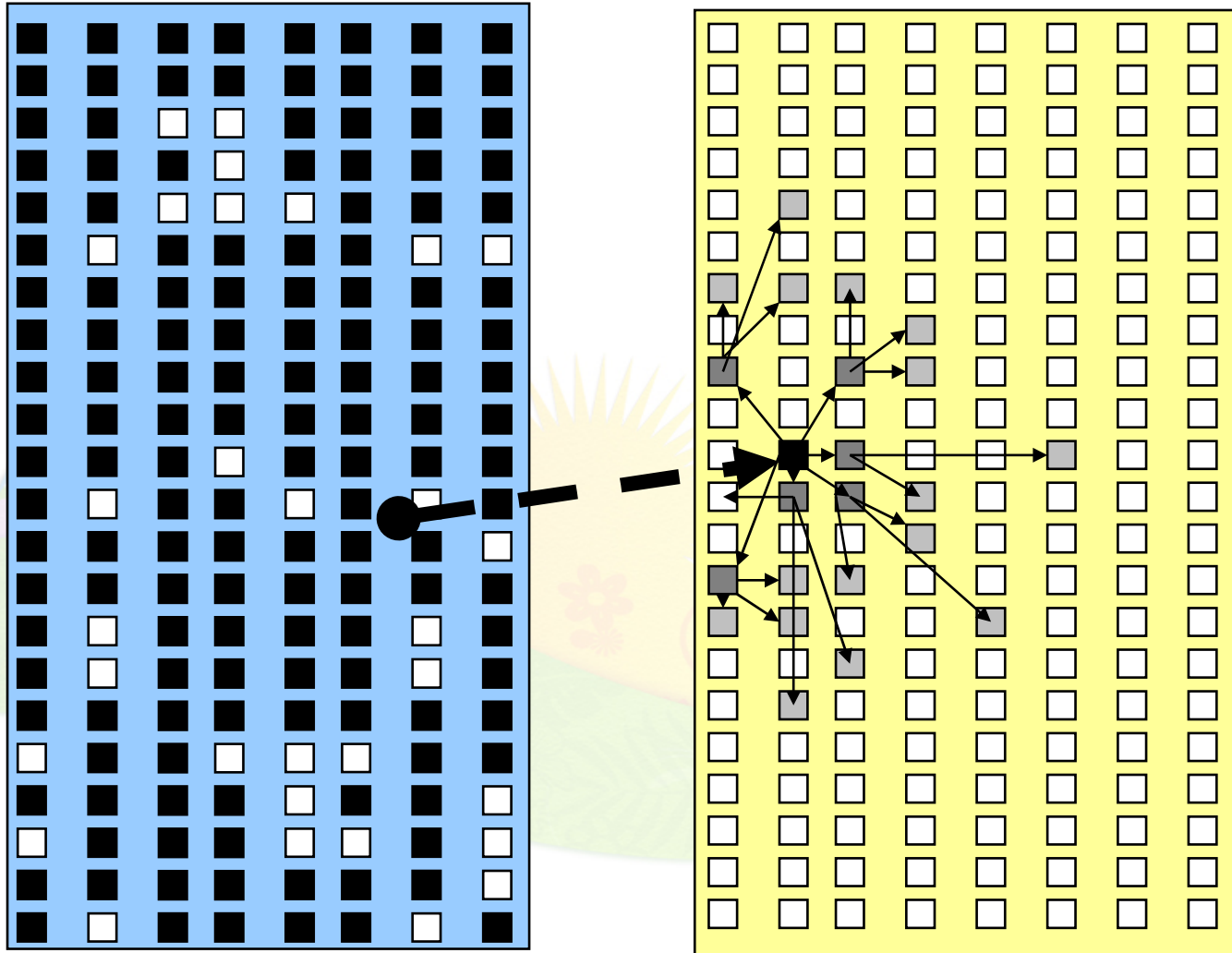


# Focos unitários predominam

Laranjeira et al (2010)



# Focos unitários, mais difíceis de encontrar





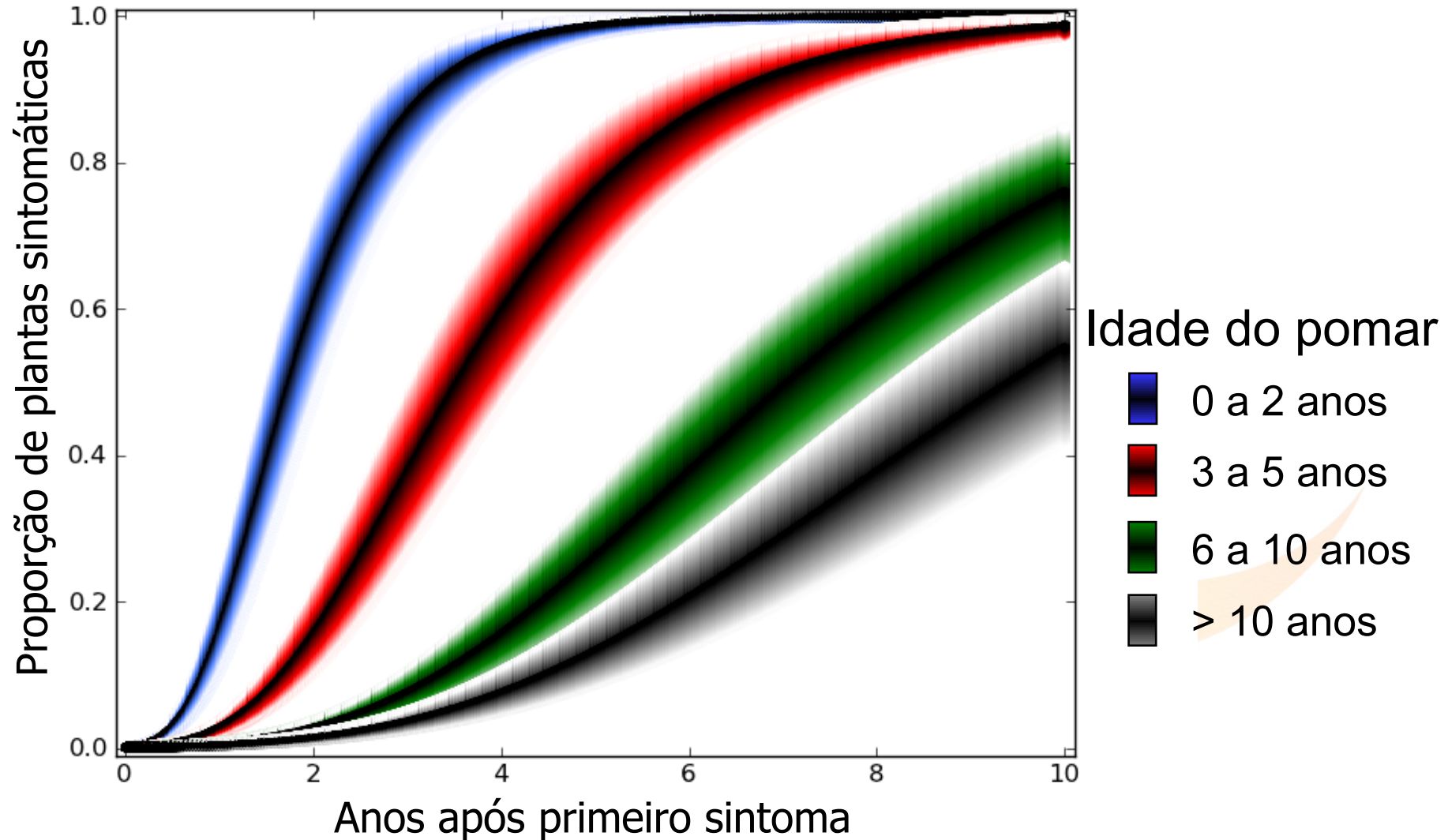
# Incidência variável: planta x ambiente x bactéria x vetor

Gottwald (2010)

Location	Pathosystem	Terminal age of planting (years)	Terminal incidence of symptomatic trees
South Africa	<i>L. africanus</i> / <i>T. erythrae</i>	5	98%
Reunion Island	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	7	96%
China (Guangxi)	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	13	>98%
China (Guangxi)	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	9	100%
Indonesia (Bali)	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	1.75	76%
Vietnam	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	3	96.3%
Brazil (São Paulo) (34 plantings)	<i>L. asiaticus</i> + <i>L. americanus</i> / <i>D. citri</i>	3	26–37%
Florida (8 plantings)	<i>L. asiaticus</i> / <i>D. citri</i>	3–4	15.2–23.6%

# *Incidência variável, idade-dependente*

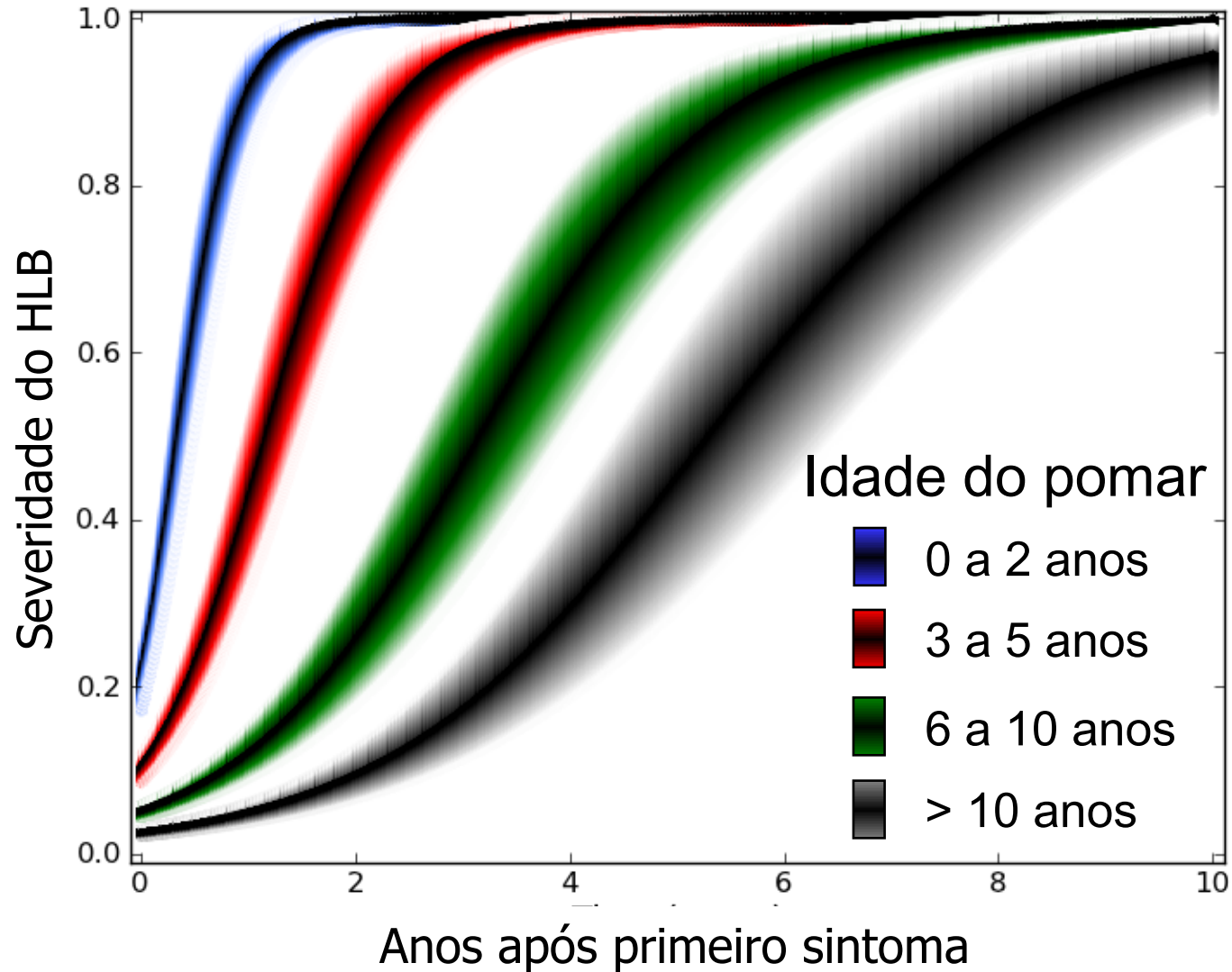
Bassanezi & Bassanezi (2008)





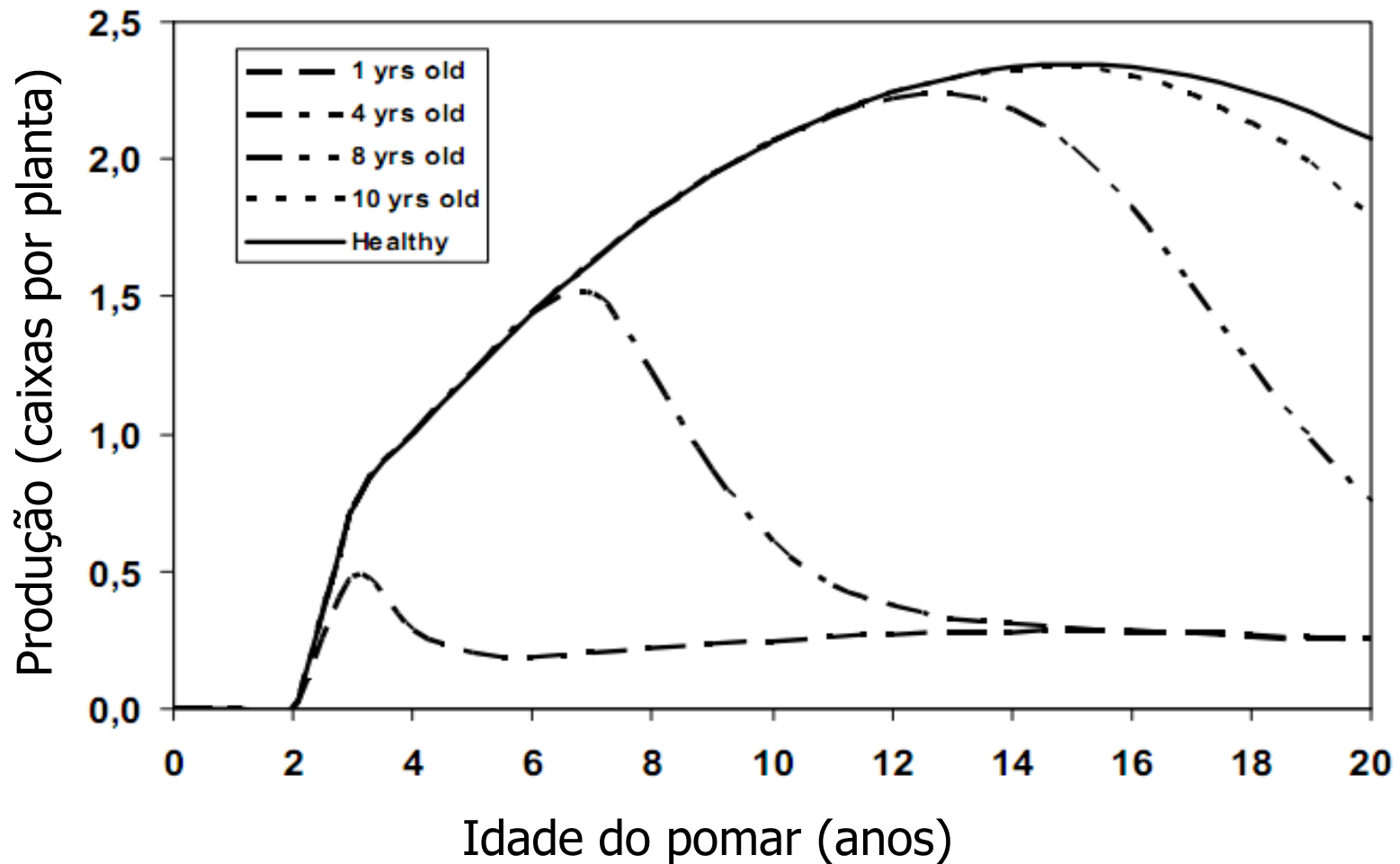
# Severidade depende da idade do pomar

Bassanezi & Bassanezi (2008)



# Expectativa de produção depende da época de infecção

Bassanezi & Bassanezi (2010)

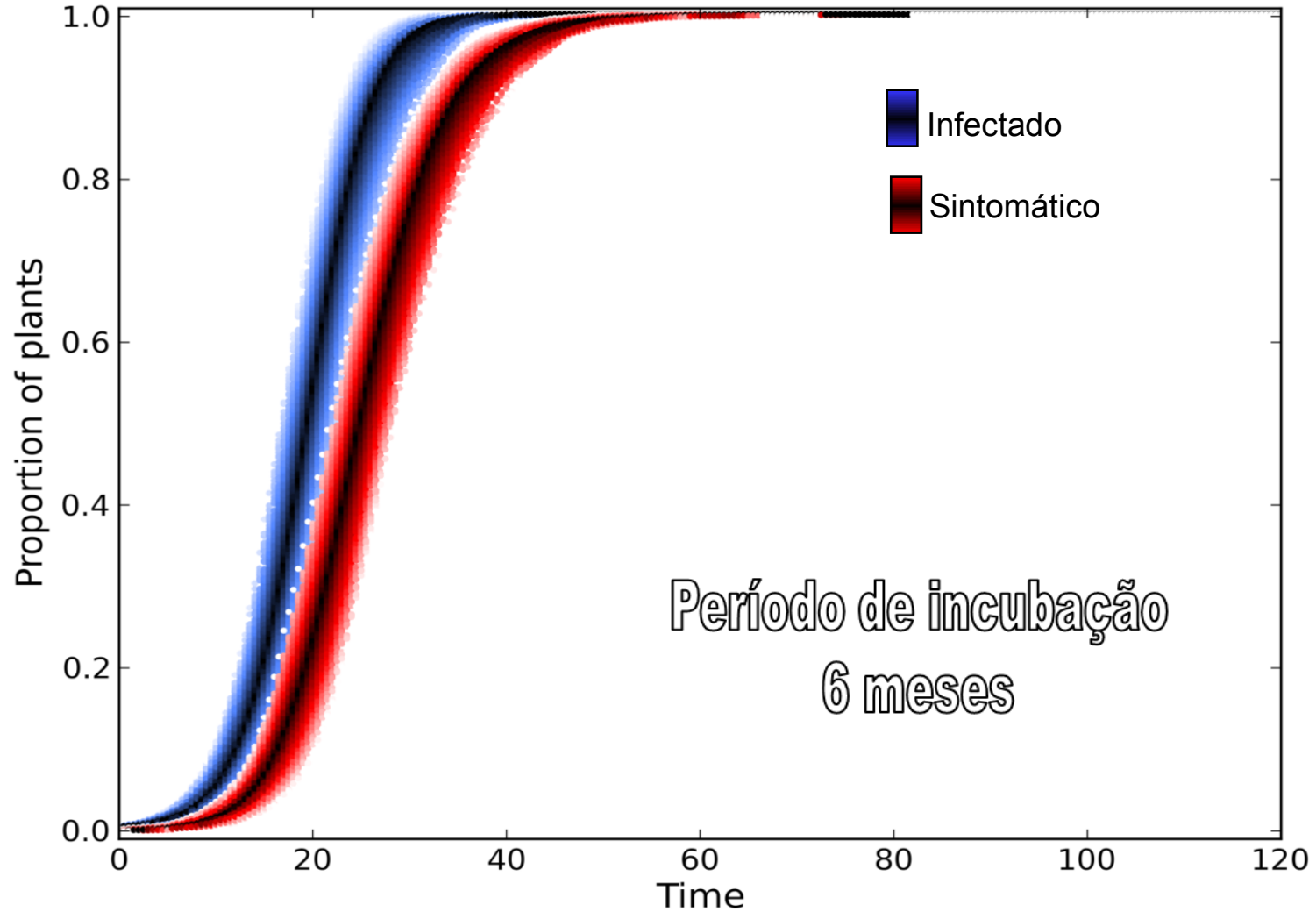


# Sintomas não são necessários para infecção

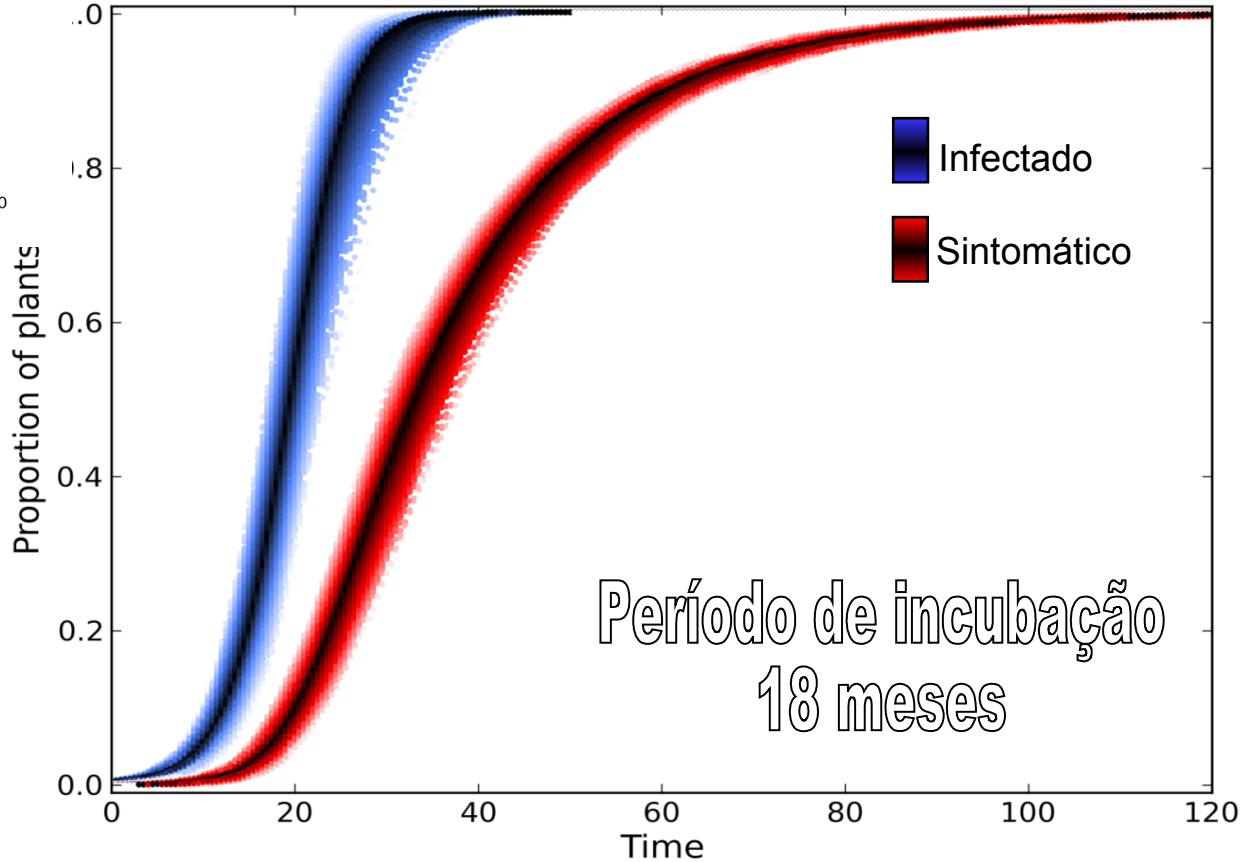
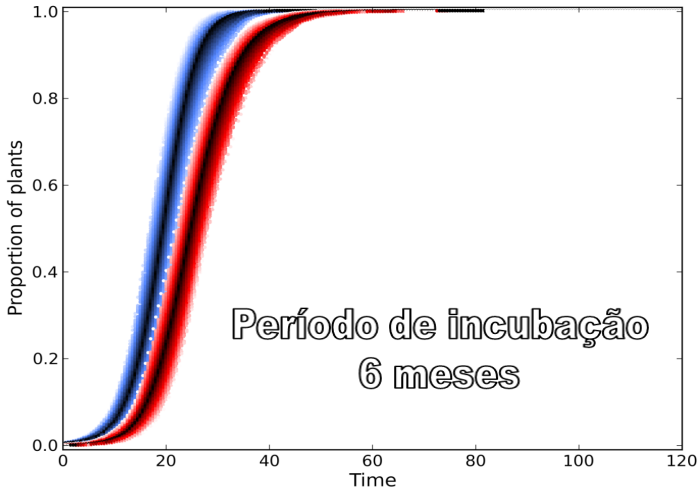




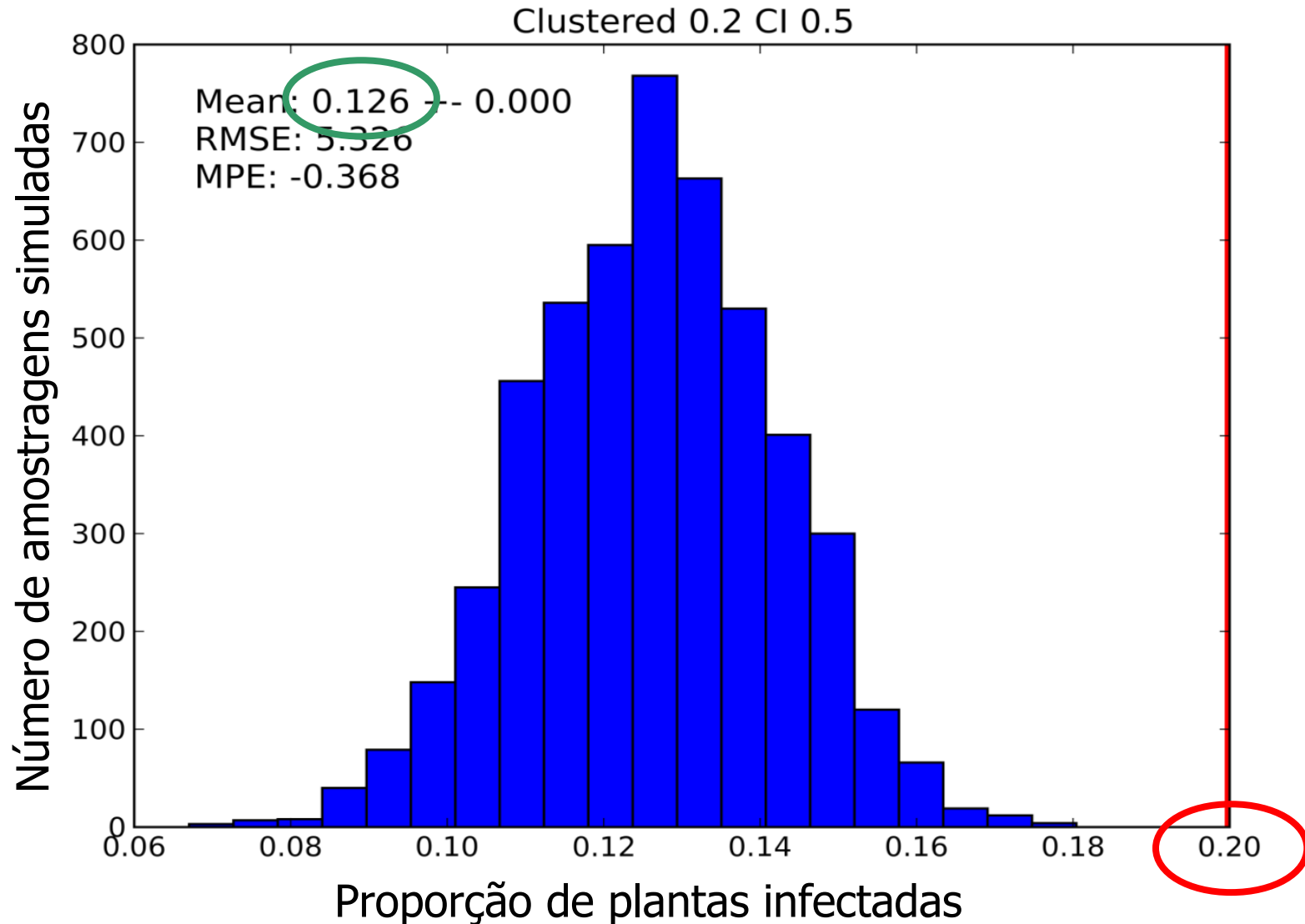
# Infecções crípticas sempre ocorrem



# Infectadas assintomáticas são fonte de inóculo



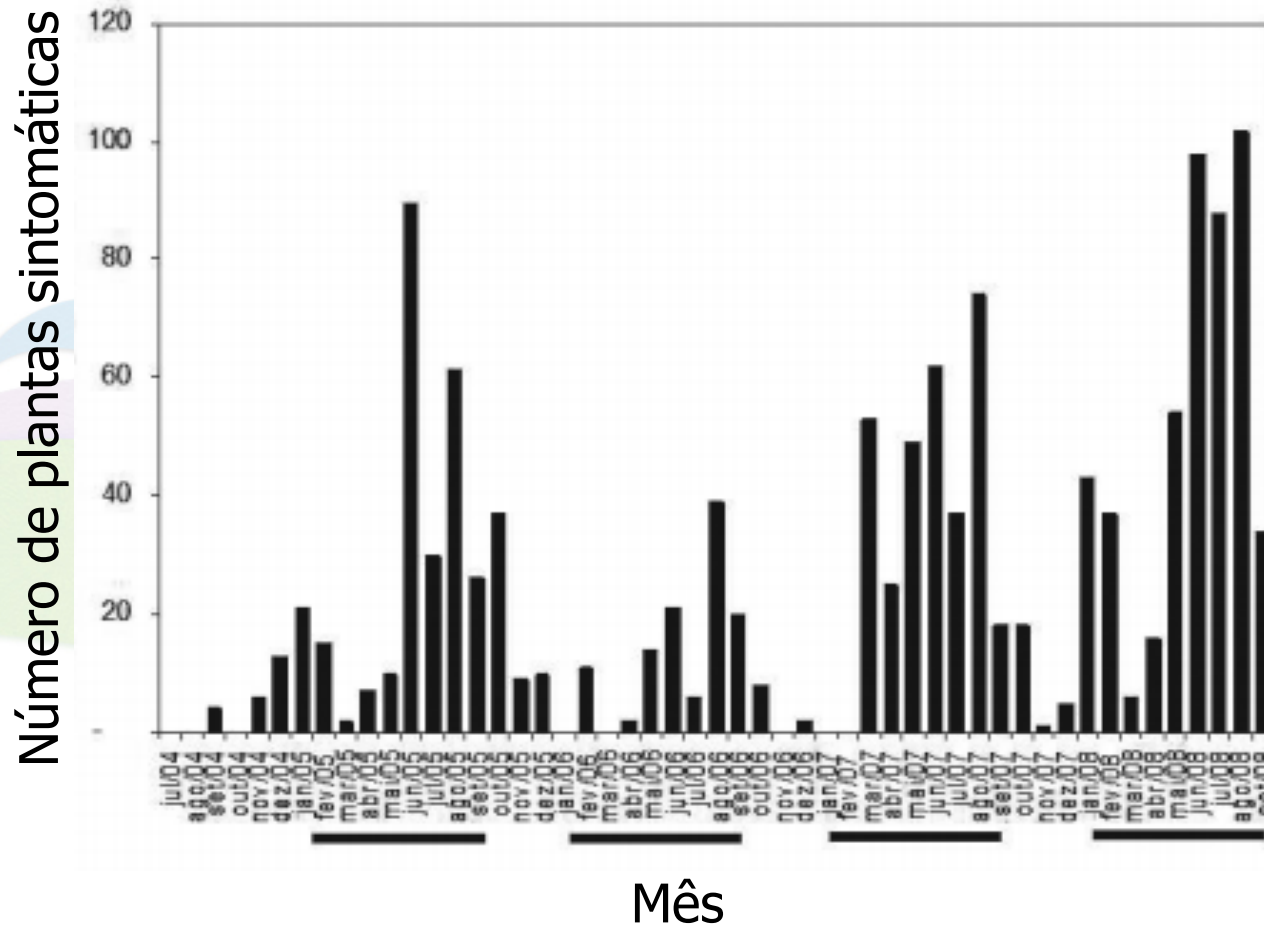
# Detecção de assintomáticas é complicada





# Expressão de sintomas é sazonal

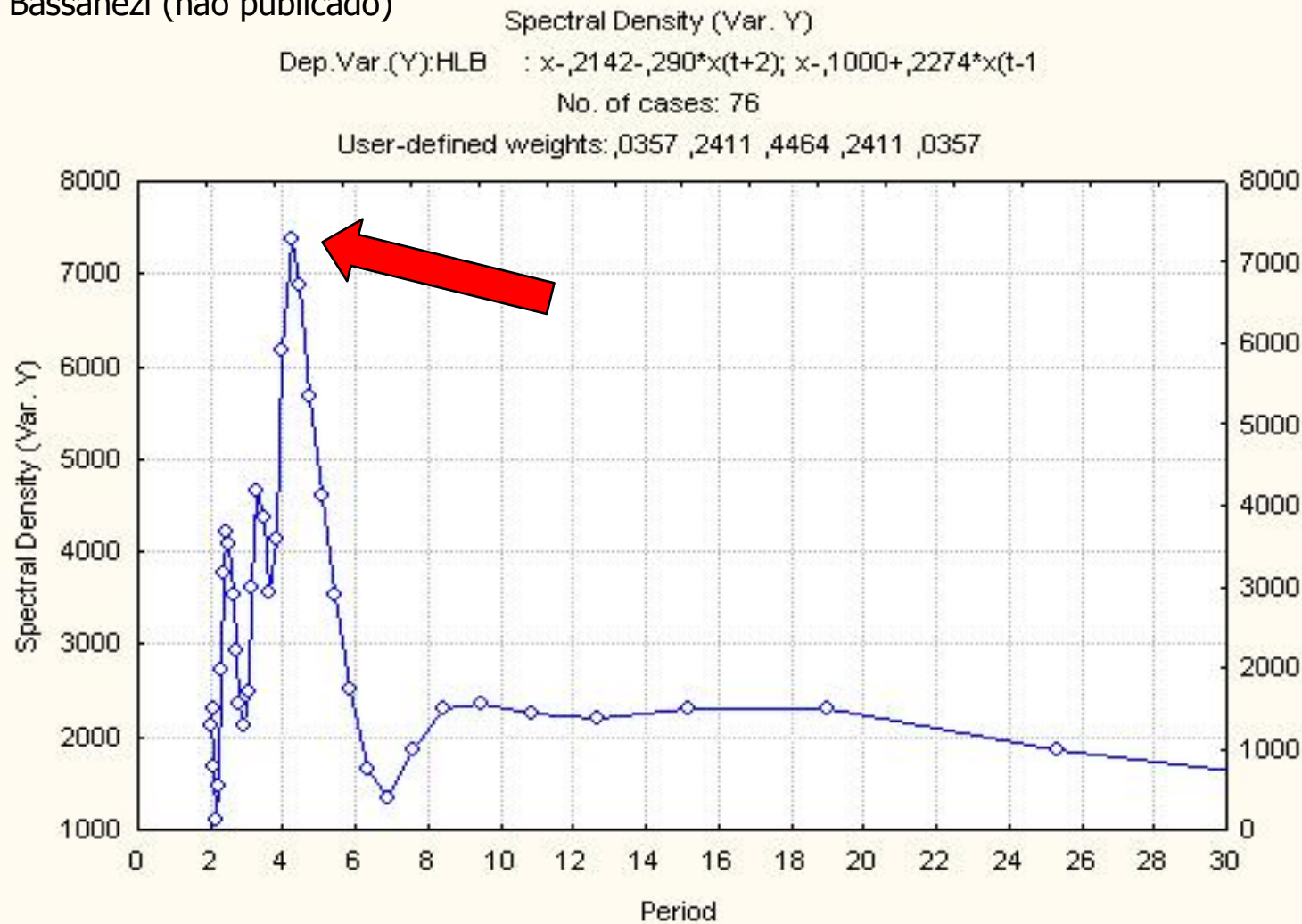
Bassanezi et al (2010)



# As inspeções são feitas na época certa?

Laranjeira & Bassanezi (não publicado)

Densidade espectral



# Vetores não dependem de vento ou plantas...

*Florida Entomologist* 93(1)

March 2010

## TRAILERS TRANSPORTING ORANGES TO PROCESSING PLANTS MOVE ASIAN CITRUS PSYLLIDS

SUSAN E. HALBERT<sup>1</sup>, KEREMANE L. MANJUNATH<sup>2</sup>, CHANDRIKA RAMADUGU<sup>2</sup>, MATTHEW W. BRODIE<sup>3</sup>, SUSAN E. WEBB<sup>4</sup>  
AND RICHARD F. LEE<sup>2</sup>





# Diaphorina pode vir em caminhões de frutas...

Florida Entomologist 93(1)

March 2010

## TRAILERS TRANSPORTING ORANGES TO PROCESSING PLANTS MOVE ASIAN CITRUS PSYLLIDS

SUSAN E. HALBERT<sup>1</sup>, KEREMANE L. MANJUNATH<sup>2</sup>, CHANDRIKA RAMADUGU<sup>2</sup>, MATTHEW W. BRODIE<sup>3</sup>, SUSAN E. WEBB<sup>4</sup>  
AND RICHARD F. LEE<sup>2</sup>

TABLE 1. NUMBERS OF *DIAPHORINA CITRI* KUWAYAMA COLLECTED FROM TRAILERS OF ORANGES AT 2 CITRUS JUICE PROCESSING PLANTS (A AND B) IN HENDRY COUNTY AND QUANTITATIVE REALTIME PCR TEST RESULTS FOR CITRUS GREENING PATHOGENS; MAR 2006.

Processing Plant—trailer No. <sup>1</sup>	Number of psyllids collected	Number of extractions tested	Number of insects per extraction	Number of extractions positive <sup>2</sup>	Number of extractions suspect <sup>2</sup>	Number of extractions negative <sup>2</sup>
A—1	23	5	4-5	0	0	5
A—2	55	1	50	0	0	1
A—2 continued	(same)	1	5	0	0	1
A—3	31	7	4-5	0	1	6
A—4	41	7	5-6	1	0	6
B—1	47	8	5-6	1	0	7
B—2	268	1	50	1	0	0
B—2 continued	(same)	71	3-5	1	5	65
B—3	44	15	2-3	0	3	12

# Vetores poderiam já estar infectivos...

*Florida Entomologist* 93(1)

March 2010

## TRAILERS TRANSPORTING ORANGES TO PROCESSING PLANTS MOVE ASIAN CITRUS PSYLLIDS

SUSAN E. HALBERT<sup>1</sup>, KEREMANE L. MANJUNATH<sup>2</sup>, CHANDRIKA RAMADUGU<sup>2</sup>, MATTHEW W. BRODIE<sup>2</sup>, SUSAN E. WEBB<sup>4</sup>  
AND RICHARD F. LEE<sup>2</sup>

TABLE 1. NUMBERS OF *DIAPHORINA CITRI* KUWAYAMA COLLECTED FROM TRAILERS OF ORANGES AT 2 CITRUS JUICE PROCESSING PLANTS (A AND B) IN HENDRY COUNTY AND QUANTITATIVE REALTIME PCR TEST RESULTS FOR CITRUS GREENING PATHOGENS; MAR 2006.

Processing Plant—trailer No. <sup>1</sup>	Number of psyllids collected	Number of extractions tested	Number of insects per extraction	Number of extractions positive <sup>2</sup>	Number of extractions suspect <sup>2</sup>	Number of extractions negative <sup>2</sup>
A—1	23	5	4-5	0	0	5
A—2	55	1	50	0	0	1
A—2 continued	(same)	1	5	0	0	1
A—3	31	7	4-5	0	1	6
A—4	41	7	5-6	1	0	6
B—1	47	8	5-6	1	0	7
B—2	268	1	50	1	0	0
B—2 continued	(same)	71	3-5	1	5	65
B—3	44	15	2-3	0	3	12

# HLB restrito ao Centro-Sul





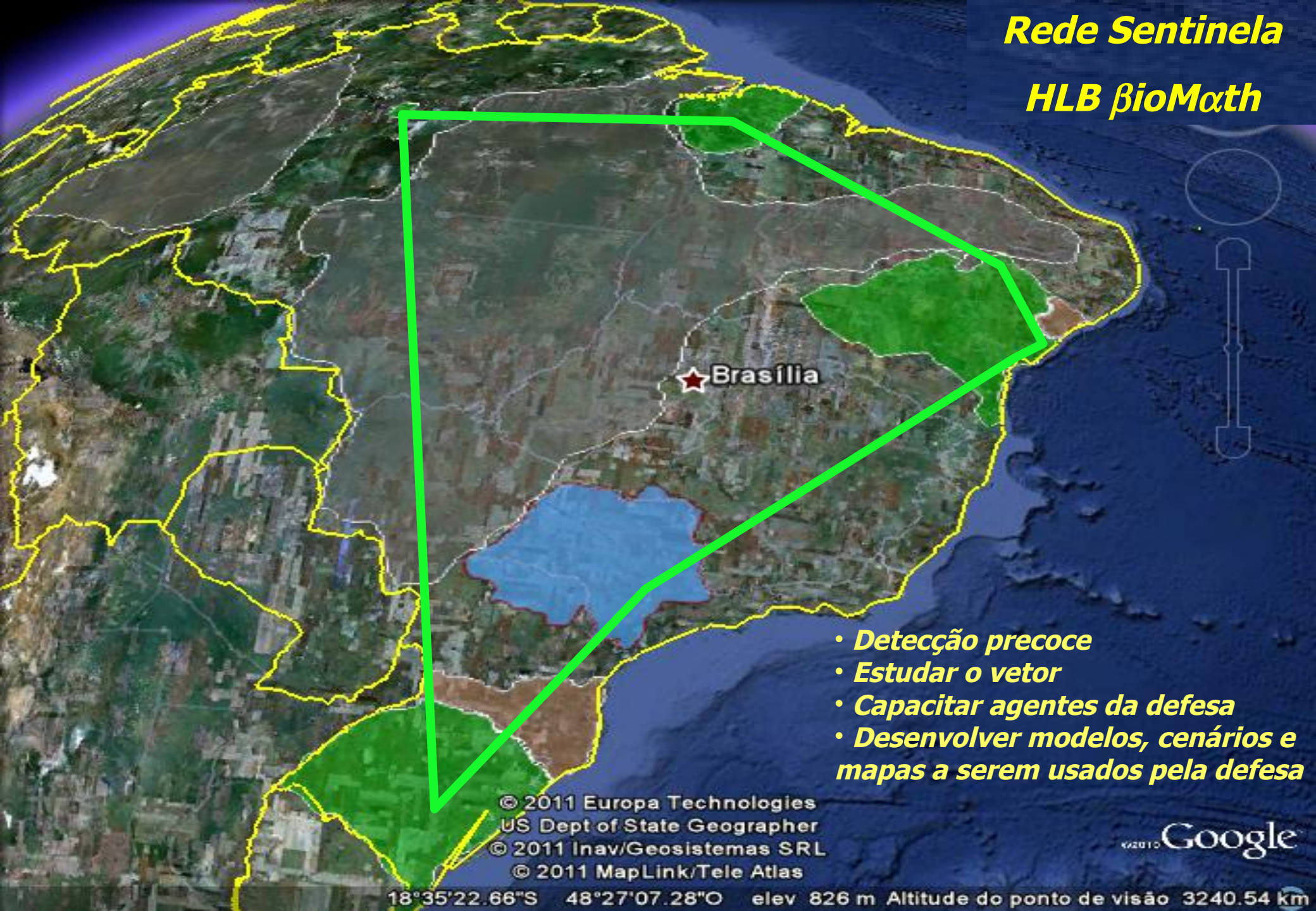
# Pomares em todo o país





**Rede Sentinela**

**HLB  $\beta$ ioM $\alpha$ th**



★ Brasília

- *Detecção precoce*
- *Estudar o vetor*
- *Capacitar agentes da defesa*
- *Desenvolver modelos, cenários e mapas a serem usados pela defesa*

© 2011 Europa Technologies  
US Dept of State Geographer  
© 2011 Inav/Geosistemas SRL  
© 2011 MapLink/Tele Atlas

©2010 Google

18°35'22.66"S 48°27'07.28"O elev 826 m Altitude do ponto de visão 3240.54 km



# Desenvolver ferramentas para as agências de defesa





# Como usar a modelagem para aperfeiçoar o controle legislativo



- *Os critérios da lei geram conflitos*
- *Dois aspectos para melhoria*
- *Necessidade de Manejo Regional conforme preconizado em São Paulo*
- *Importância relativa da murta*

Image NASA  
Map data © 2008 DMapas/El Mercurio  
© 2008 Europa Technologies

1 20000 39000 © 2008 MapLink/Tele Atlas 79000 98000

©2007 Google™

Ponteiro 13°56'48.83" S 44°14'14.37" O

Fluxo ||||| 100%

Altitude do ponto de visão 2547.59 km



# IN 53 normatiza a erradicação no Brasil

## »»»» Critérios de interesse

(i) Pomares com 28% de plantas sintomáticas devem ser eliminados

- » Eficiência de detecção ( $\epsilon = 0,476$ )
- » Relação [sintomáticas: infectadas] fixa ( $\rho = 0,57$ )
- » 100% de infectadas  $\Rightarrow$  28% sintomáticas detectadas ( $\epsilon \cdot \rho \cdot 100$ )

# ***IN 53 normatiza a erradicação no Brasil***

## **»»»» Critérios de interesse**


- (i) Pomares com 28% de plantas sintomáticas devem ser eliminados
- (ii) Erradicação deve ser feita trimestralmente, no mínimo



# Esses critérios fazem sentido?

## »»»» Critérios de interesse

- (i) Pomares com 28% de plantas sintomáticas devem ser eliminados
- (ii) Erradicação deve ser feita trimestralmente, no mínimo



**SOB QUAIS  
CIRCUNSTÂNCIAS?**

# Como melhorar a norma?

## »»»» Critérios de interesse

- (i) Pomares com 28% de plantas sintomáticas devem ser eliminados
- (ii) Erradicação deve ser feita trimestralmente, no mínimo

# **Incertezas biológicas**

**Período de incubação**

**Taxa de infecção**



***Modelos são  
representações  
da realidade***



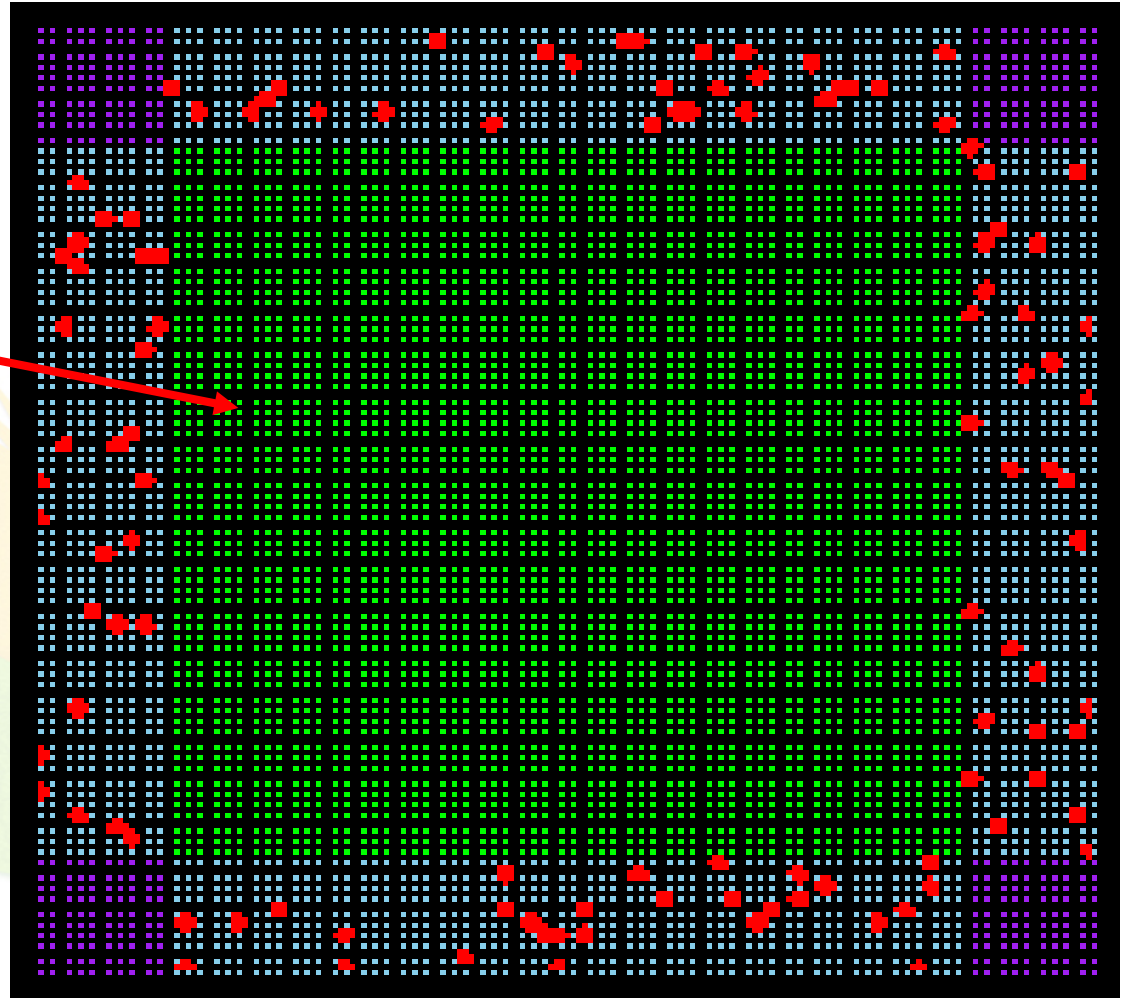


***Simulações são  
experimentos  
virtuais***



# Paisagem completamente ajustável

## Pomar alvo



### Modelo Grove

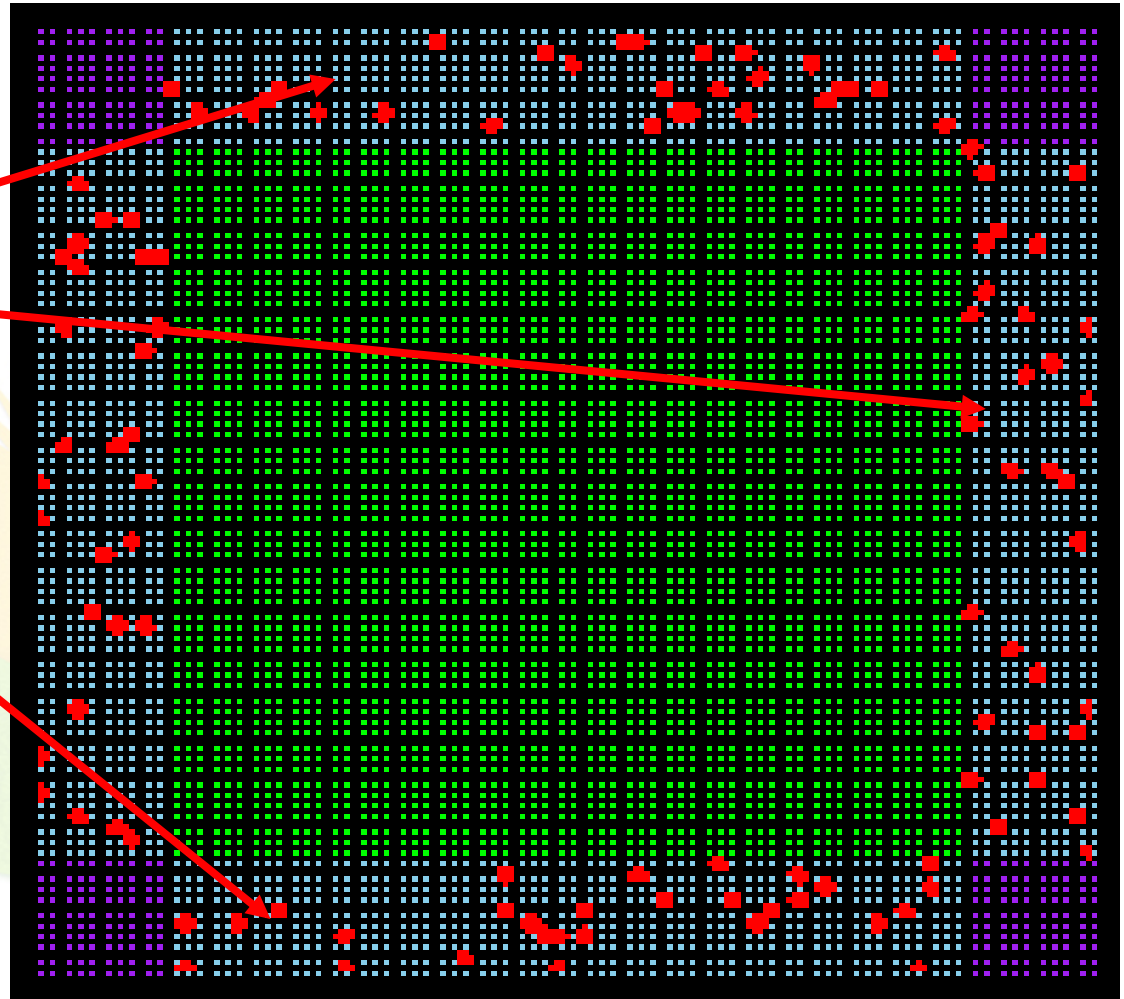
- » Compartmental SEIDR
- » Estocástico
- » Espacialmente explícito

# Escolha de linhas, plantas e espaçamento

## Pomares vizinhos

### »»» Modelo Grove

- » Compartimental SEIDR
- » Estocástico
- » Espacialmente explícito



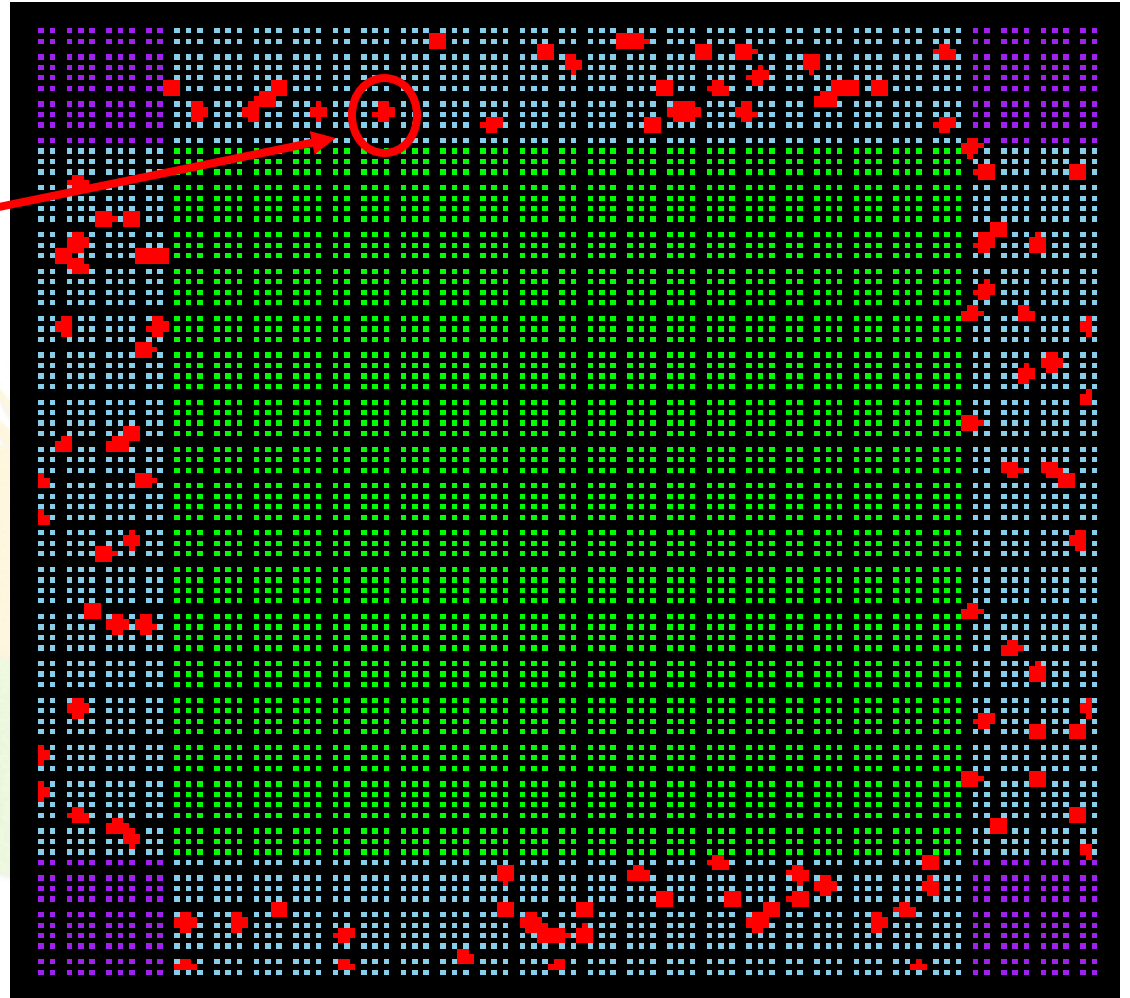


# Ajuste de inóculo inicial, taxas, etc

## Planta infectada

### Modelo Grove

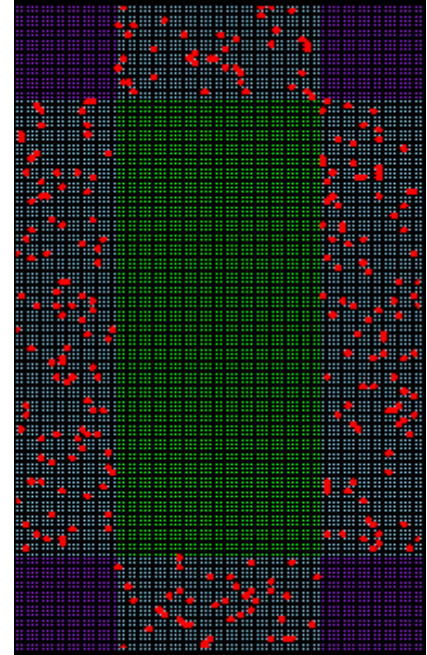
- » Compartmental SEIDR
- » Estocástico
- » Espacialmente explícito



# Simulando região de alta incidência

## »»»» Paisagem modelada

- » Espaçamento de 7,0m x 3,5m
- » Área total de 26,7ha
- » Pomar alvo com 9,4ha (40 linhas x 96 plantas)
- » Pomares vizinhos com 5% de plantas infectadas



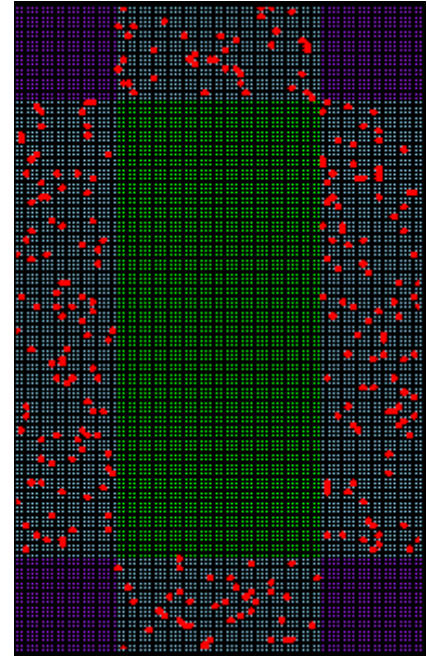
# Simulando cenários de disseminação

## »»»» Paisagem modelada

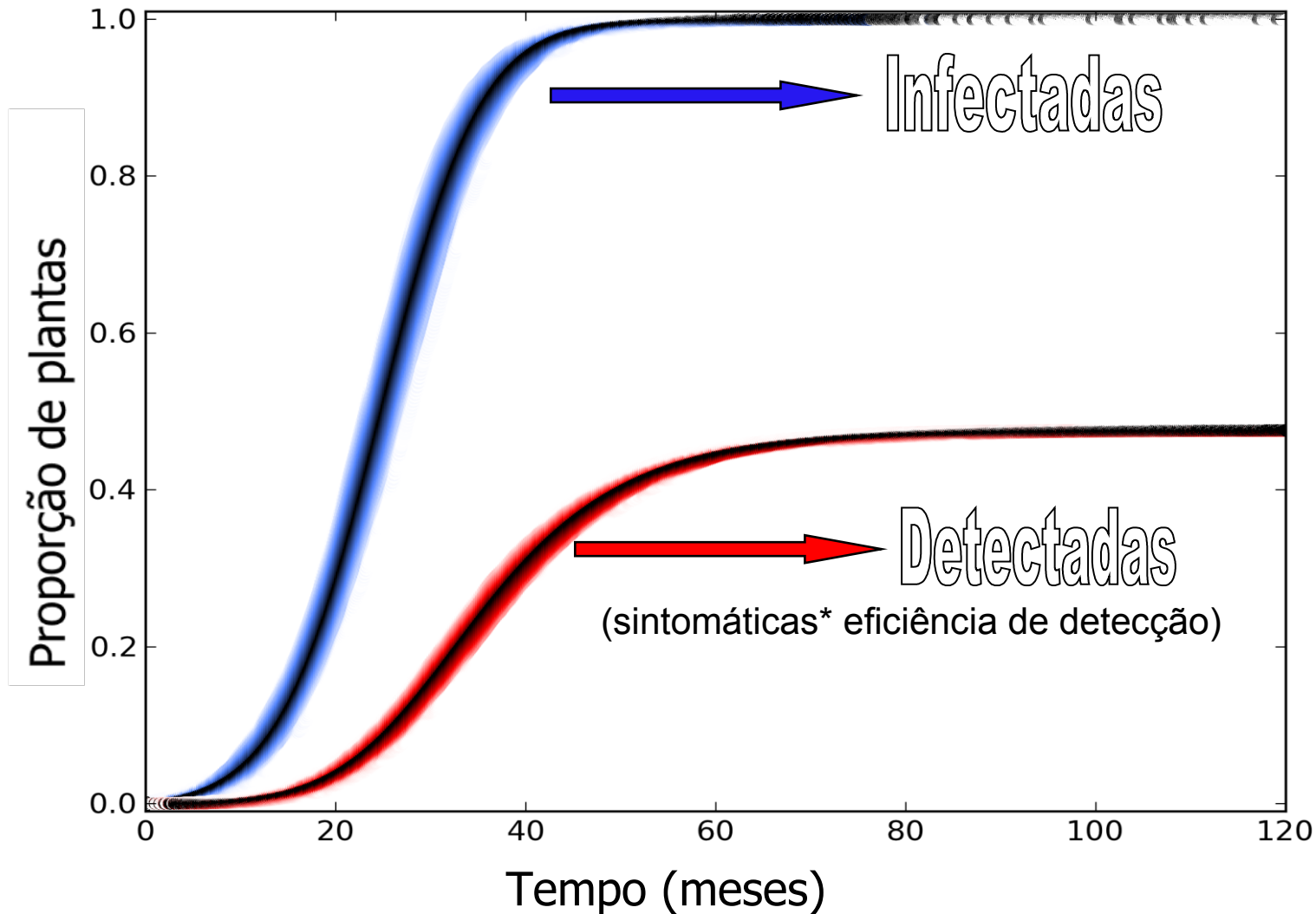
- » Espaçamento de 7,0m x 3,5m
- » Área total de 26,7ha
- » Pomar alvo com 9,4ha (40 linhas x 96 plantas)
- » Pomares vizinhos com 5% de plantas infectadas

## »»»» Parâmetros

- » Kernel de dispersão exponencial com escala de 18m
- » Períodos de incubação: 3, 6, 12, 18, 24 ou 30 meses
- » Taxas de infecção: 0,02 (baixa); 0,05 (média) e 0,1 (alta)
- » Tempo de epidemia: 120 meses
- » 1000 epidemias virtuais (repetições) por cenário de disseminação (tratamentos)

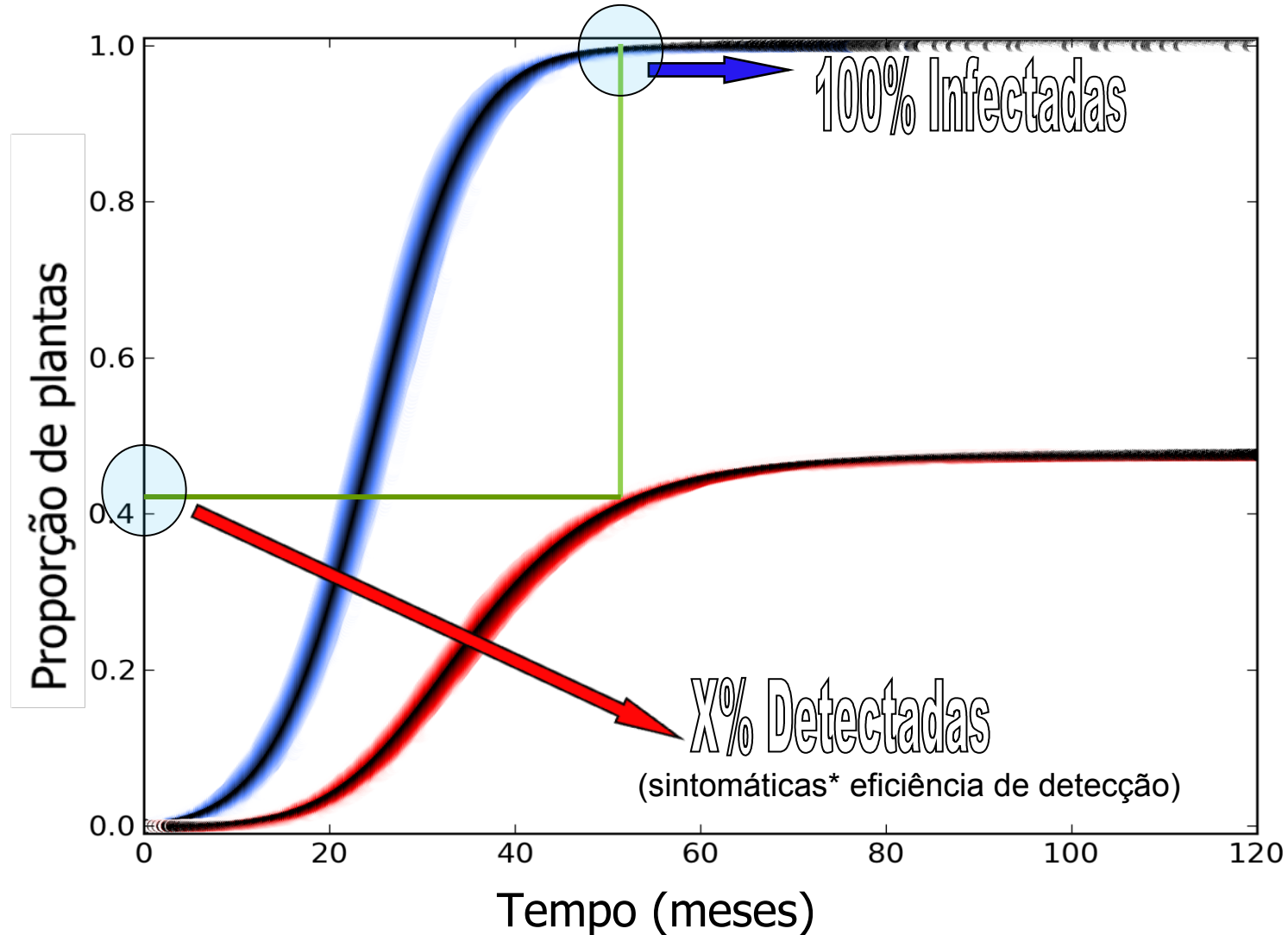


# É válido o critério de 28%?



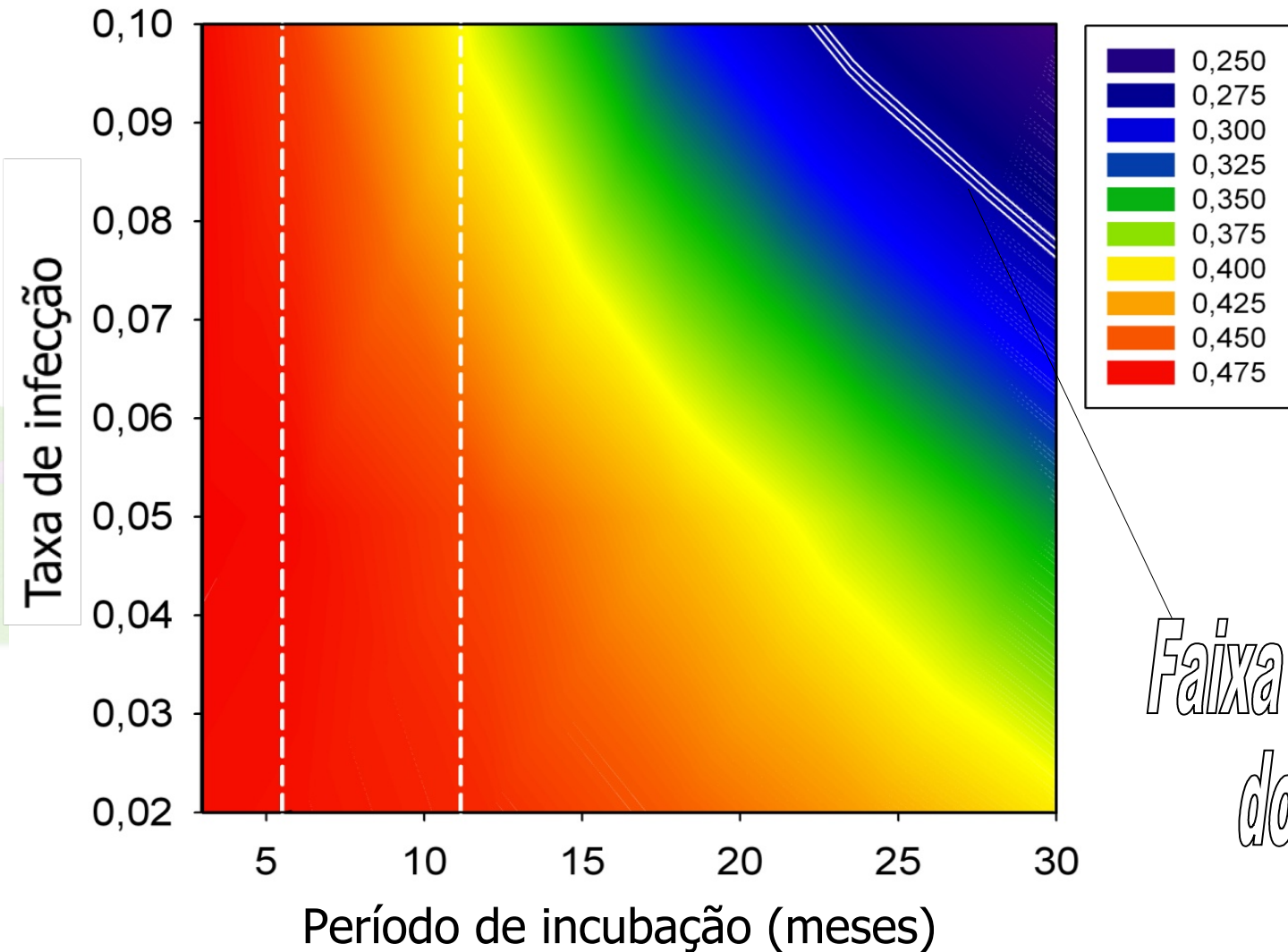


# É válido o critério de 28%?



# Critério de 28% é muito limitado!

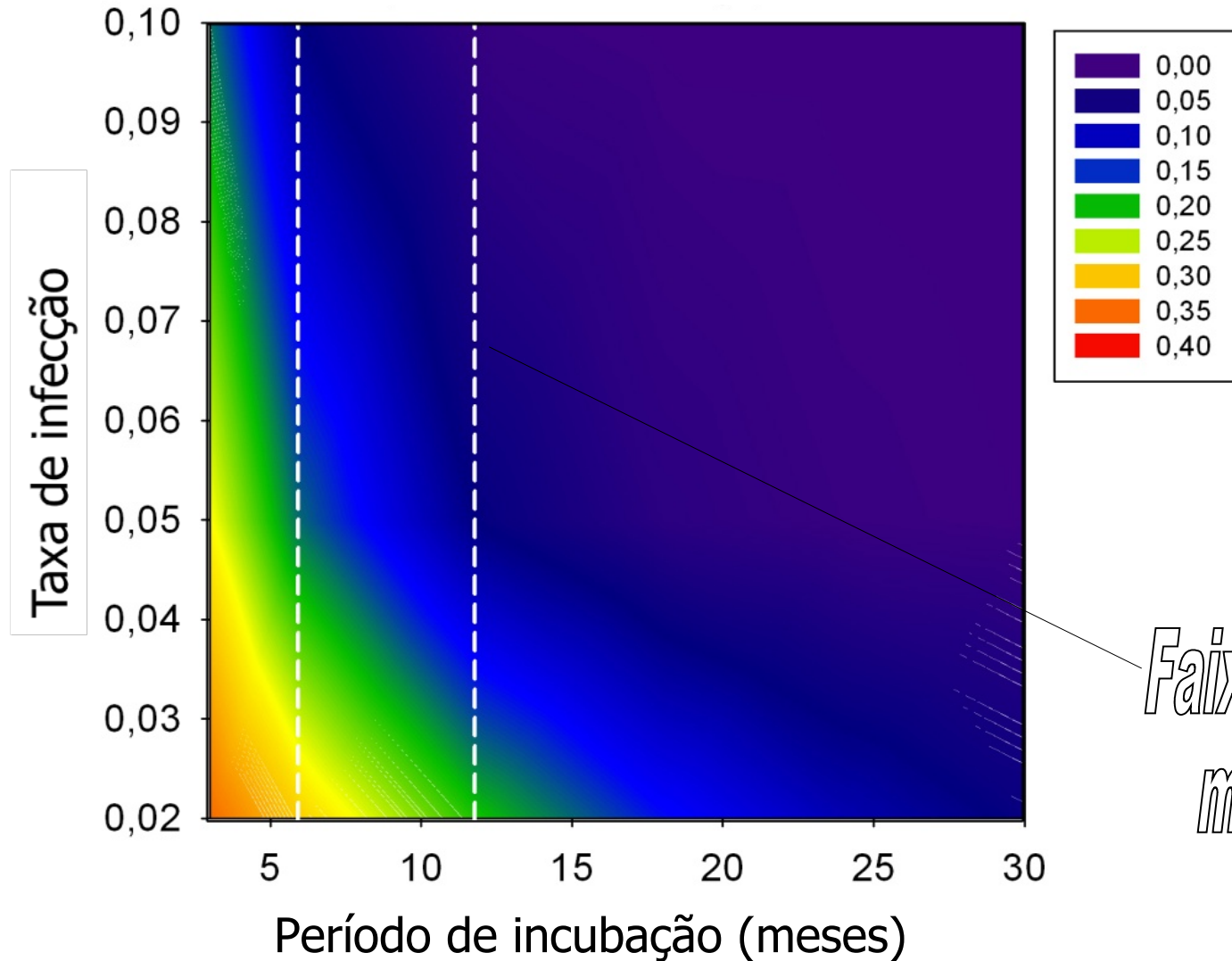
*Proporção de plantas detectadas quando 100% estão infectadas*



*Faixa de coerência do critério*

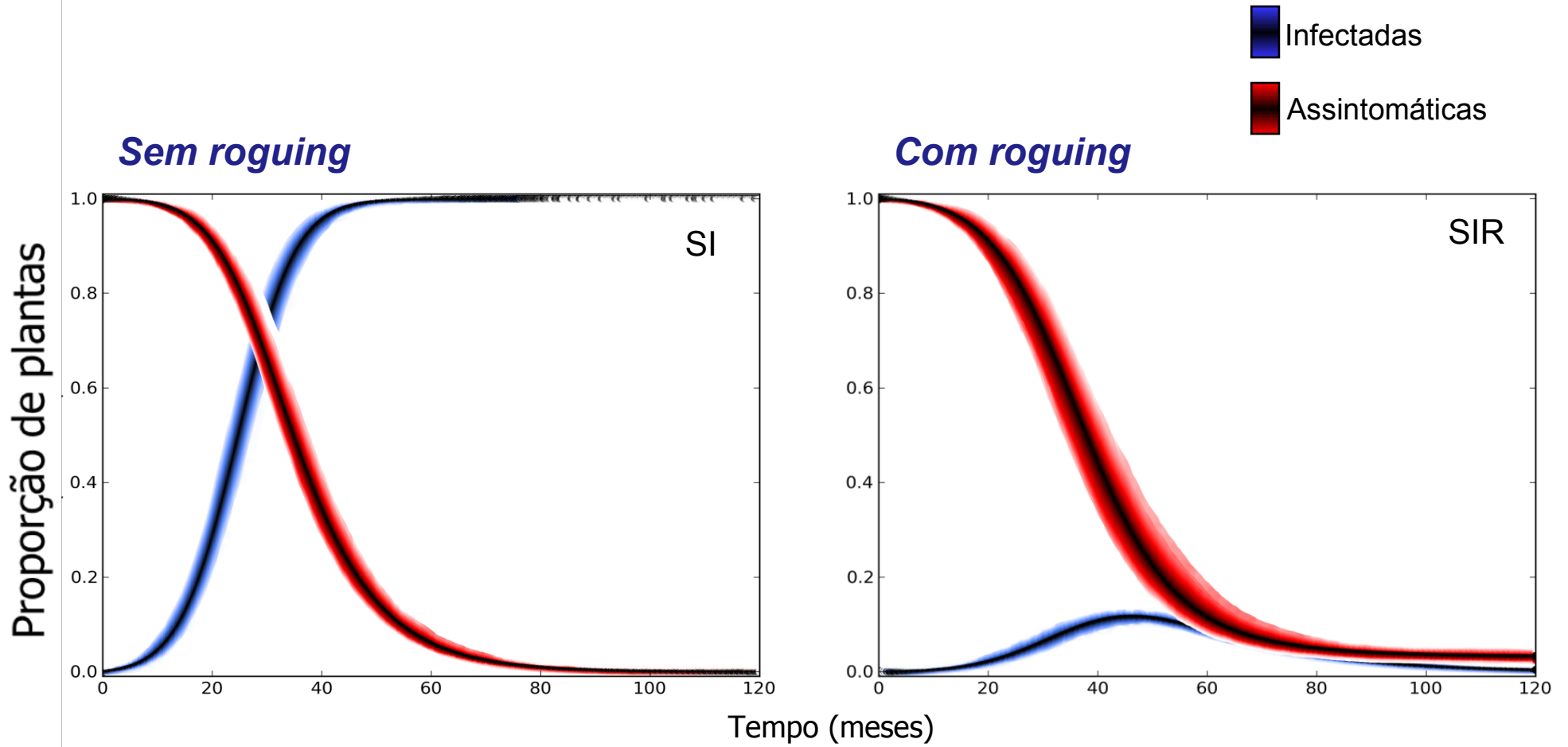
# 28% elimina muita planta sadia!

Proporção de plantas sadias a serem eliminadas



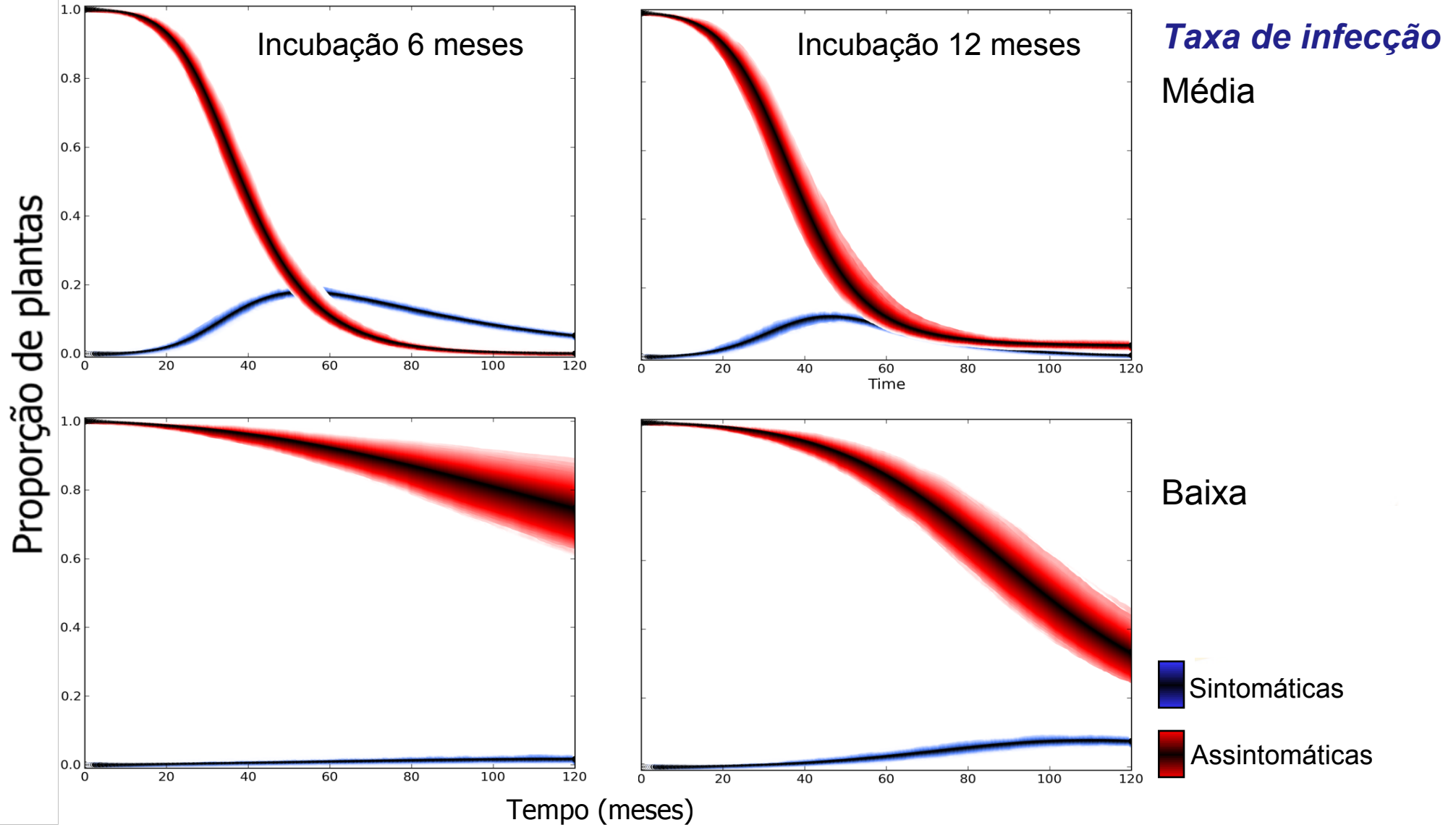
*Faixa de incubação  
mais provável*

# Roguing trimestral é suficiente?



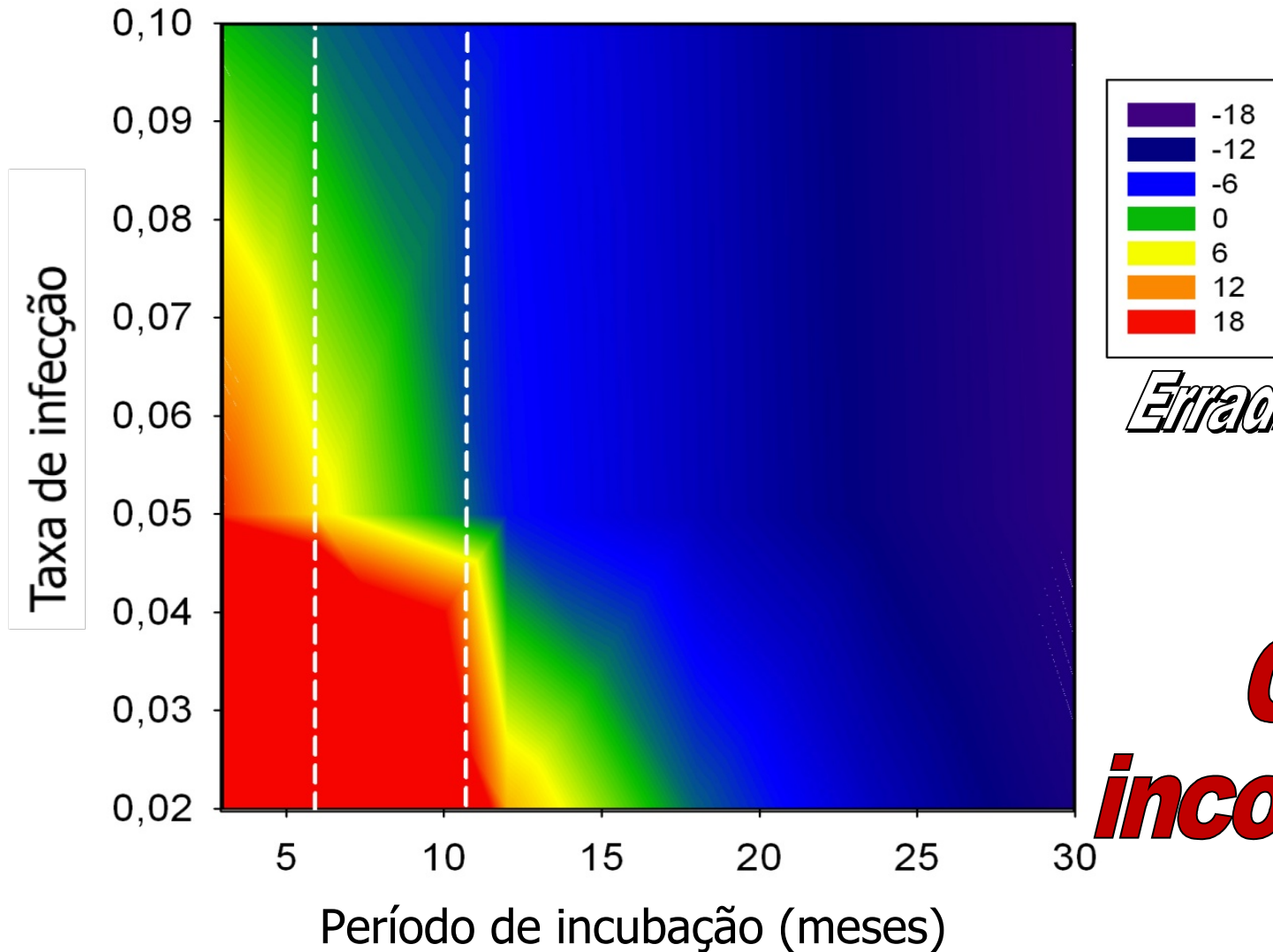


# Estabilização ocorre em poucos cenários



# Roguing trimestral não é muito vantajoso

Tempo SIR – Tempo SI



*Erradicação trimestral*

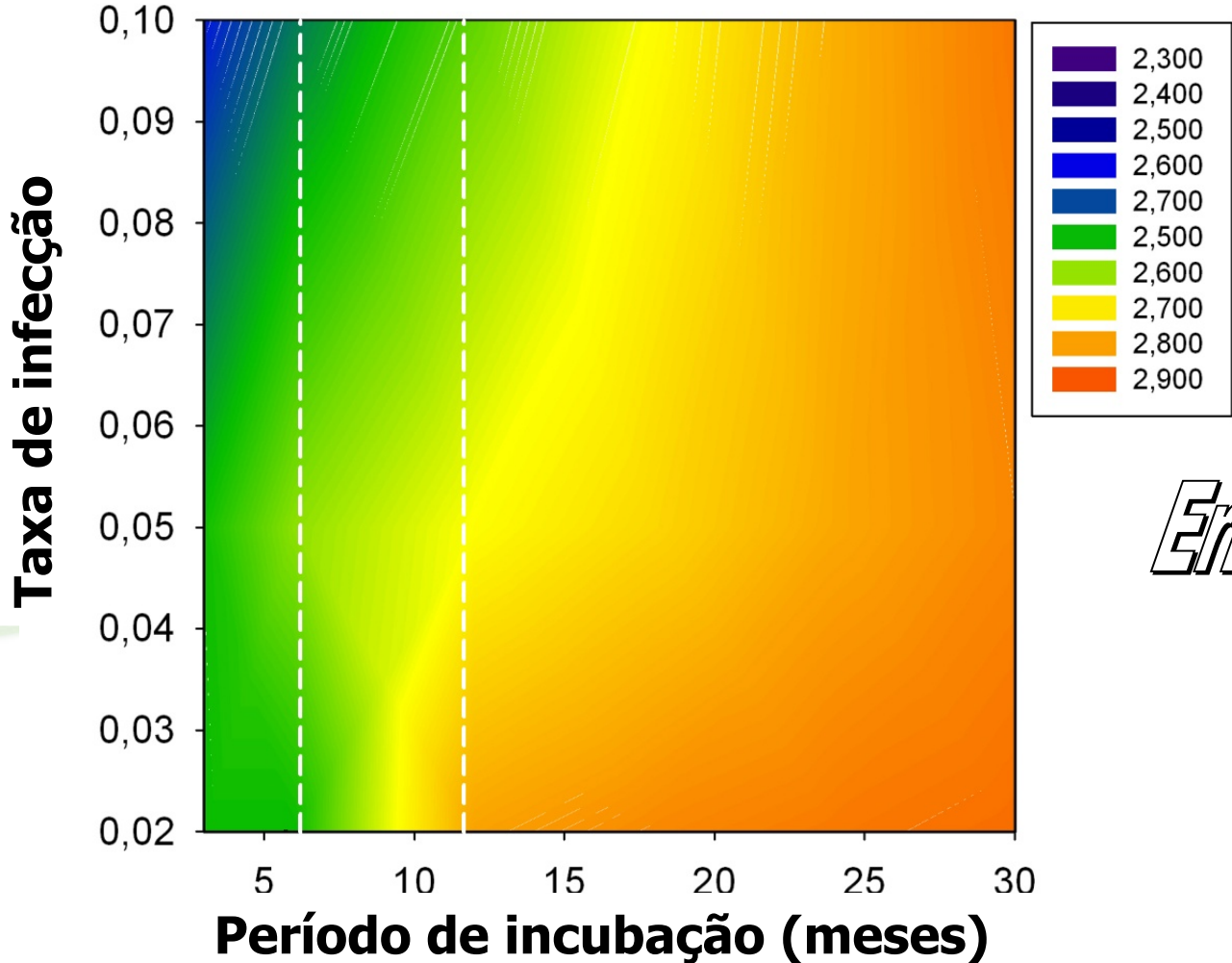
*X*

*28%*

***Critérios  
incompatíveis***

# ...mas não erradicar aumenta 2,5X o risco do HLB

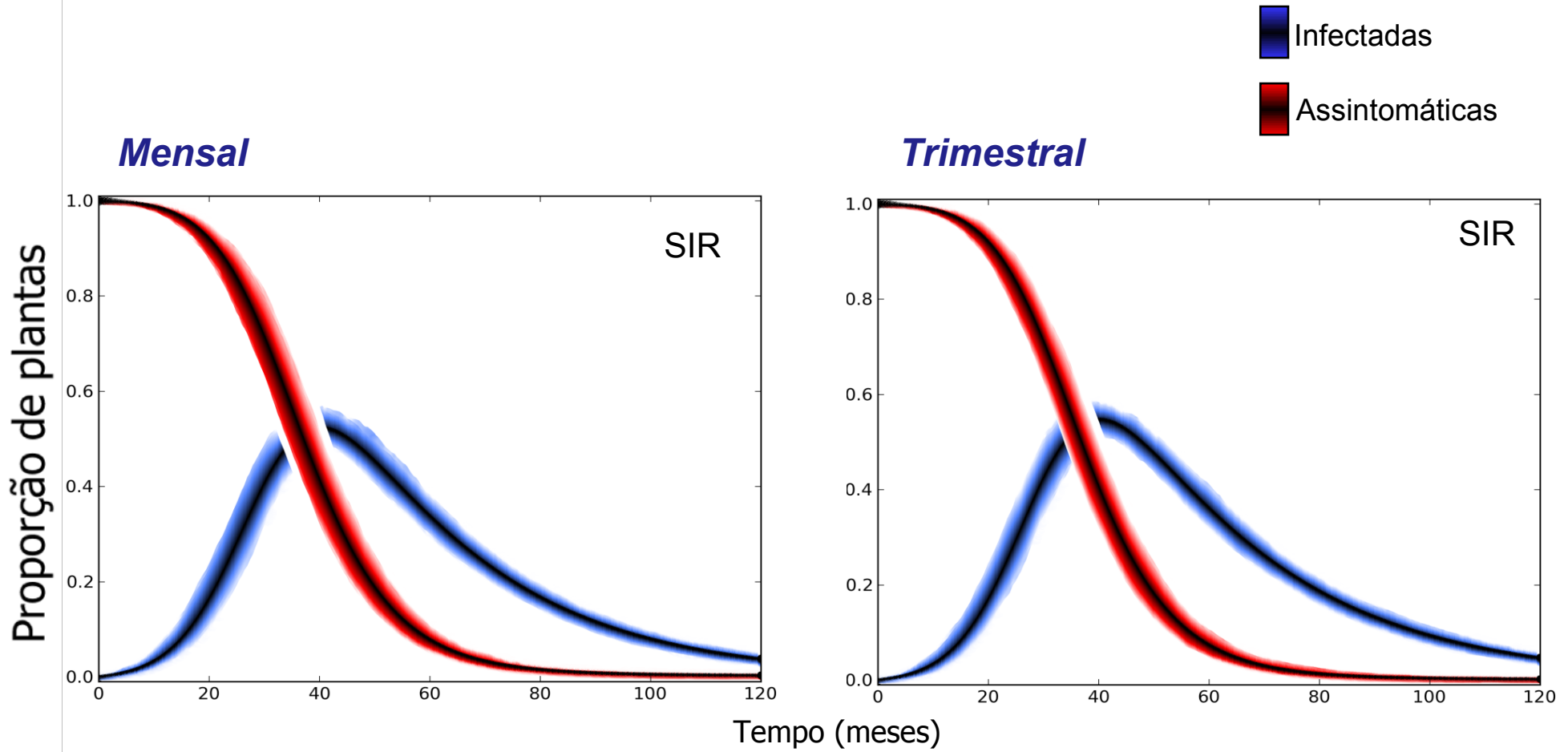
## Relação entre Áreas Abaixo das Curvas de Progresso



*Erradicação trimestral*  
*X*  
*28%*

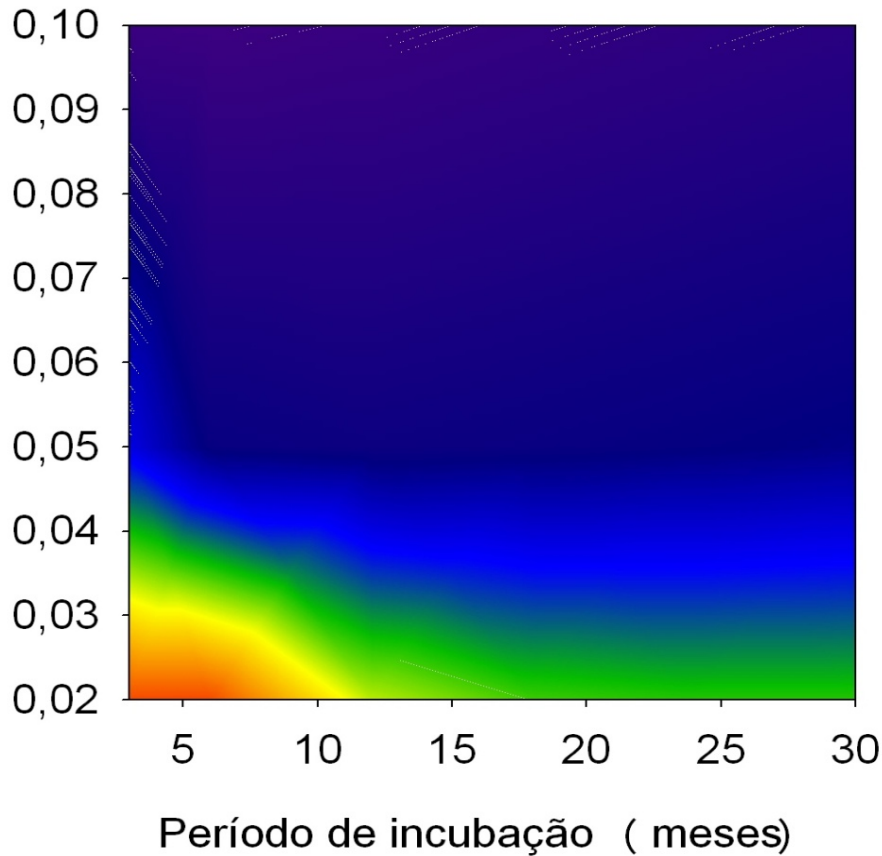


# Como melhorar o roqueing?

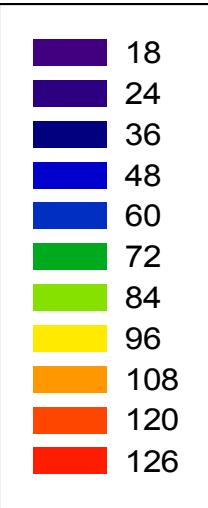
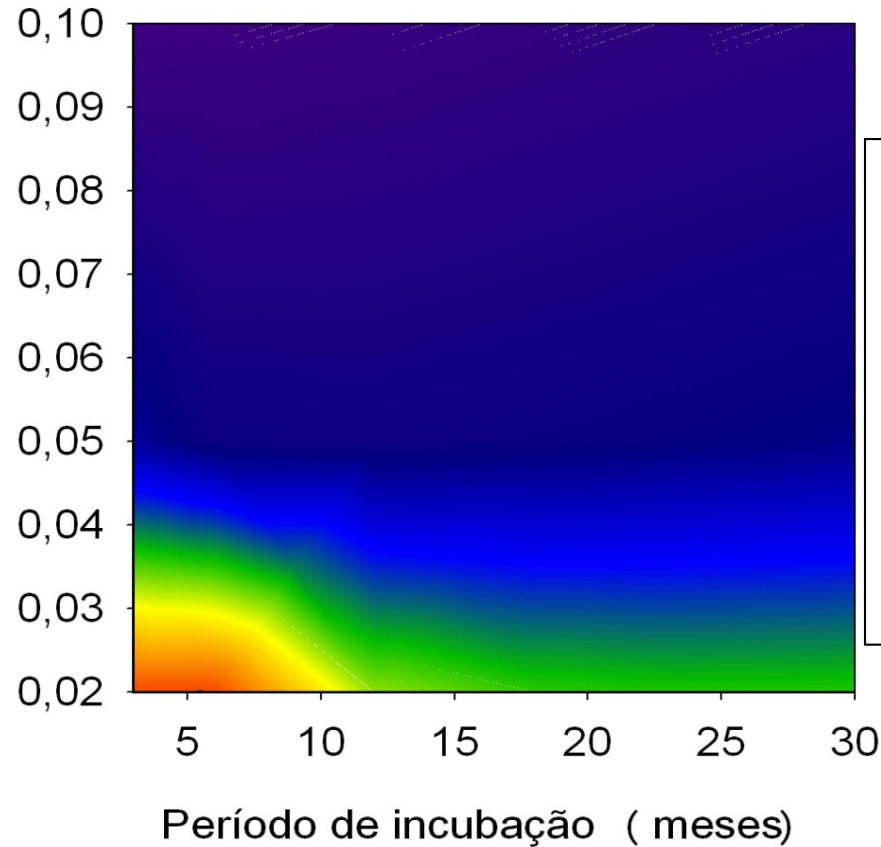


# Maior frequência não melhora roquing

Mensal

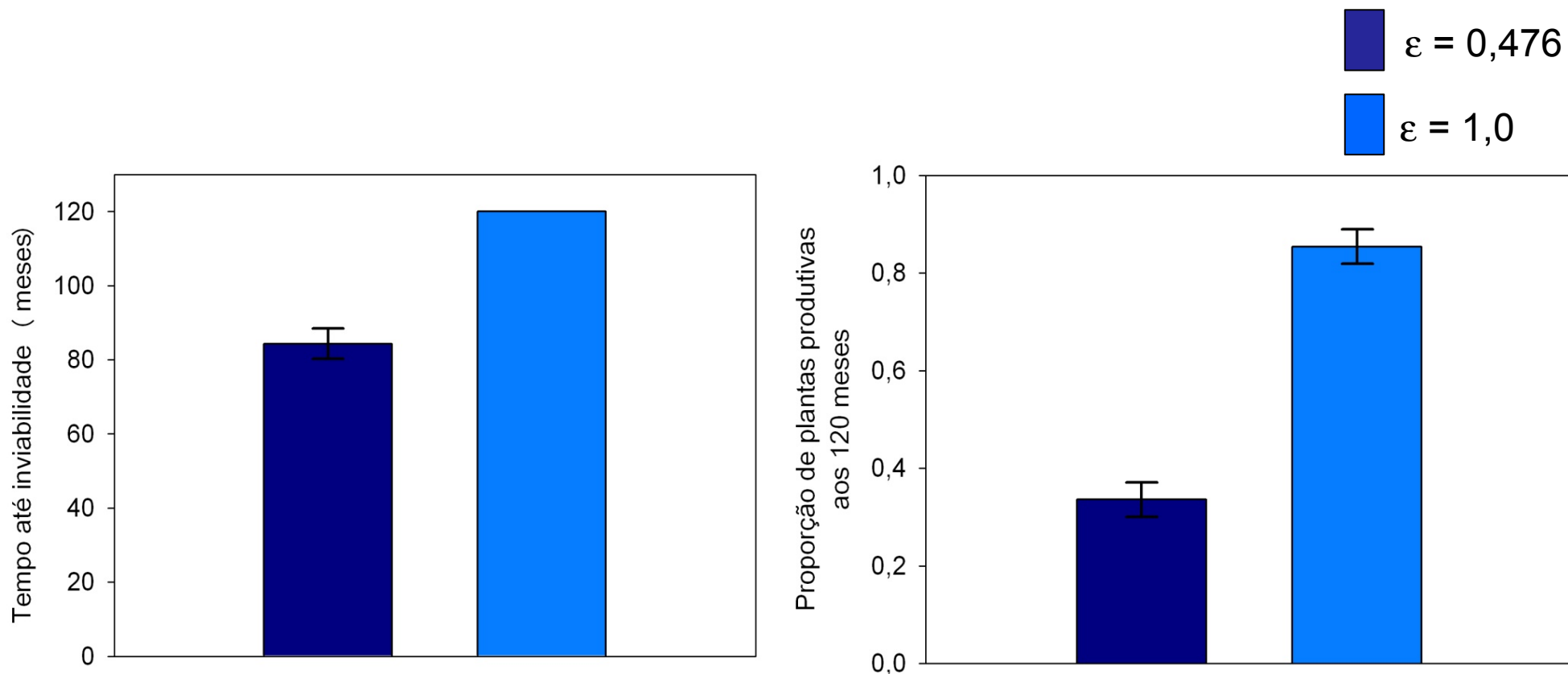


Trimestral



**Tempo até inviabilidade do pomar não muda muito**

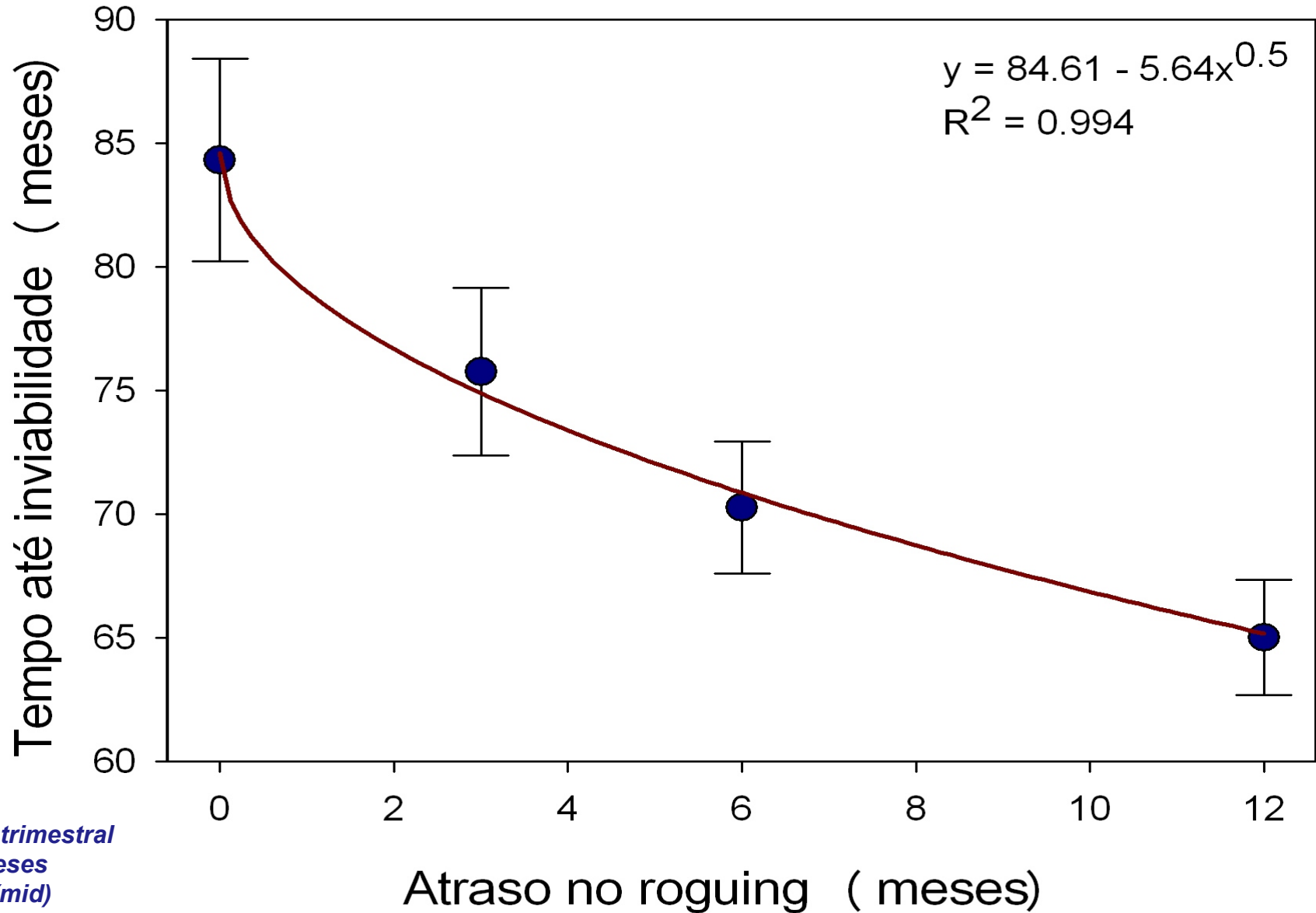
# Eficiência de detecção deve ser o alvo



*Roguing trimestral*  
*Inc 12 meses*  
*Txi 0,05 (mid)*



# Detecção precoce é essencial



Roguing trimestral  
 Inc 12 meses  
 Txi 0,05 (mid)

# Que mensagem tirar dos resultados?

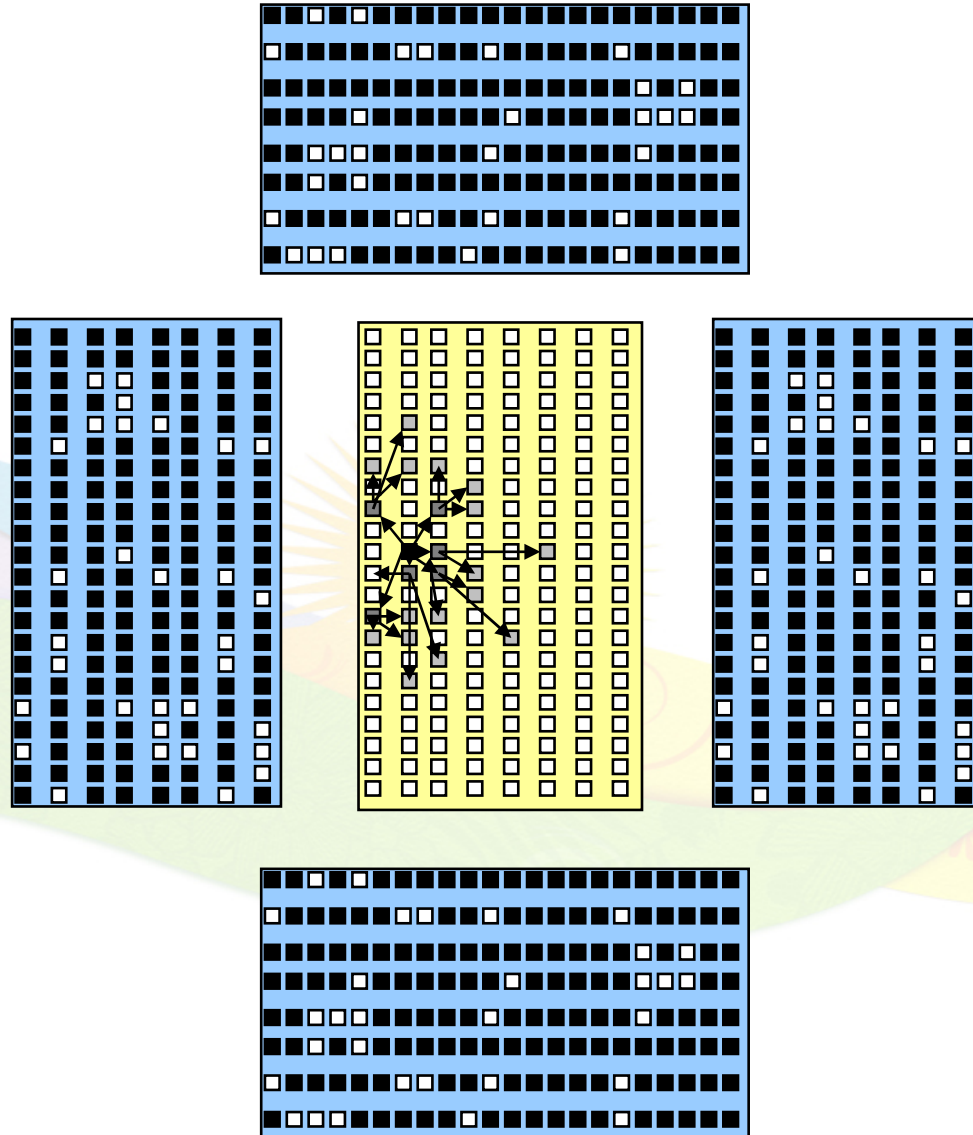
- ▶▶▶▶ A IN53 deveria ser reformulada para aumentar **eficiência** e **aceitação**
- ▶▶▶▶ Aumentar frequência de roguing não é estratégia eficiente
- ▶▶▶▶ Foco na eficiência de detecção: reinspeções? diagnose remota?
- ▶▶▶▶ Ações isoladas tem menor probabilidade de sucesso



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



# O que esperar do Manejo regional na Bahia?





# São Paulo



Image © 2011 DigitalGlobe

© 2011 MapLink/Tele Atlas

2010 Google

Data das imagens: 6 de Jul de 2004 21°32'27.28"S 48°35'24.50"O elev 527 m Altitude do ponto de visão 973 m



**Bahia**



Image © 2011 DigitalGlobe

© 2011 MapLink/Tele Atlas

©2011 Google

Data das imagens: 15 de Jul de 2005 11°32'24.02"S 37°59'40.47"O elev 157 m Altitude do ponto de visão 957 m

# *Cryptica: modelo para doenças com infecção críptica*

## Protótipo do Modelo CRYPTICA

**Estrutura do  
Modelo**

Explore as seis páginas com a estrutura do modelo. As setas azuis indicam o fluxo de efeitos. As taxas estão indicadas por ampulhetas e os compartimentos por caixas. Os losangos com números indicam a página onde a variável marcada foi estruturada. Posicione o ponteiro do mouse sobre cada item para obter maiores detalhes.

**Cenários de  
Disseminação**

Gerador de cenários de disseminação. Altere os parâmetros do modelo e verifique seu efeito na evolução da epidemia.

**Resultados  
detalhados**

Verificação de resultados detalhados das simulações.

**Documentação  
do Modelo**

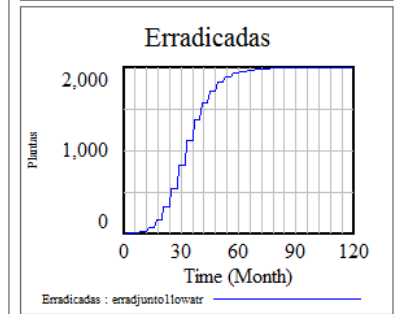
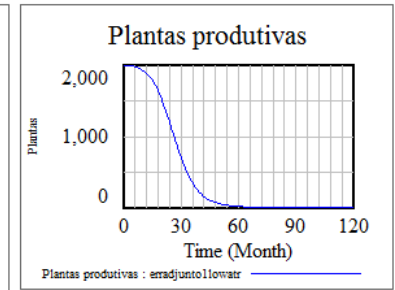
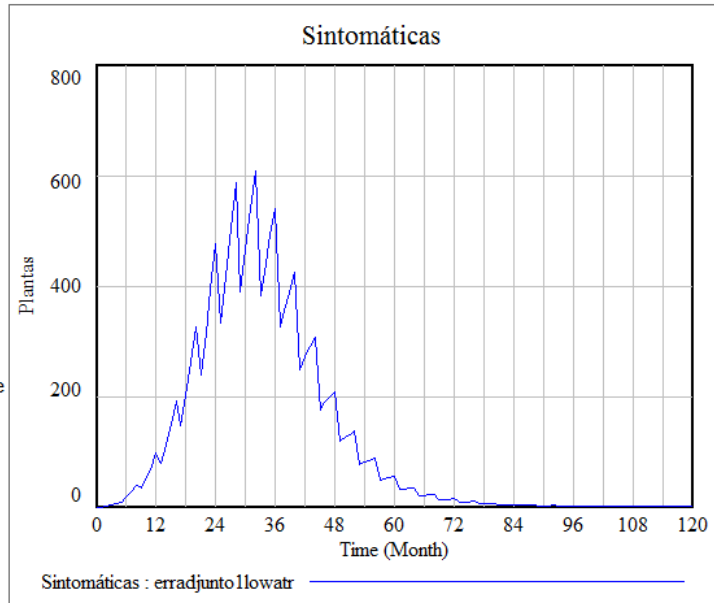
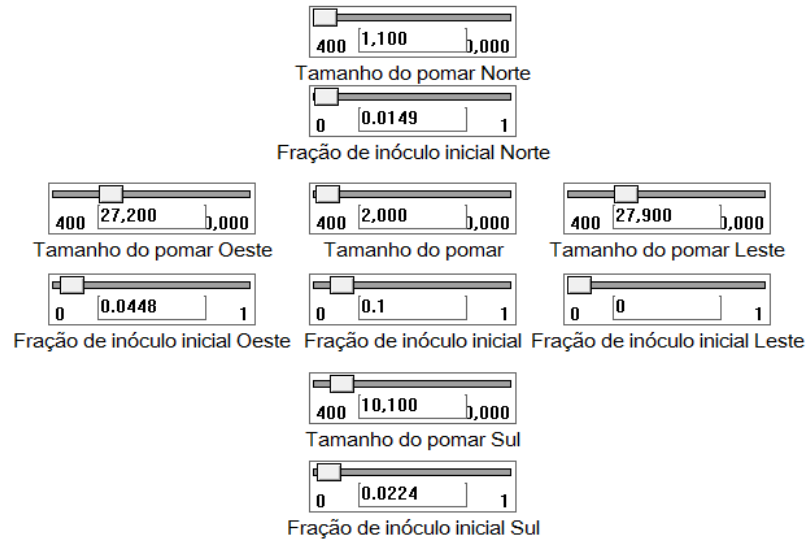
Descrição detalhada de cada componente do modelo: formulação, unidades e comentário

**Árvores causais**

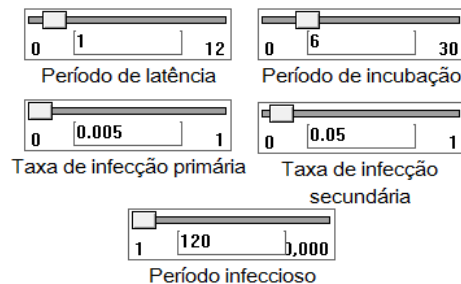
Dendrogramas com relação entre componentes do modelo

# Cryptica: modelo para doenças com infecção críptica

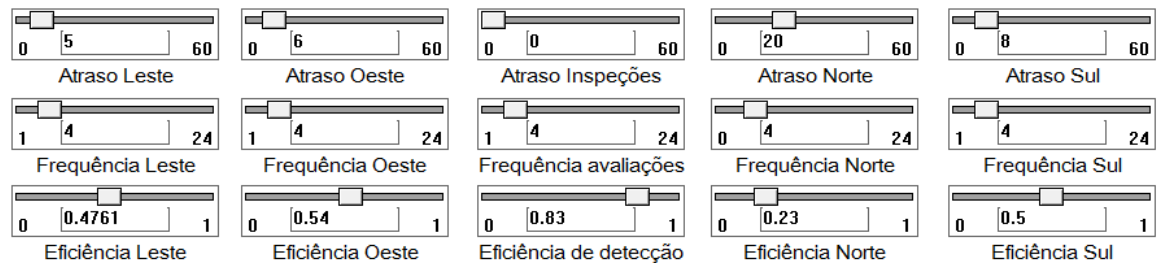
## Paisagem



## Parâmetros de Infecção

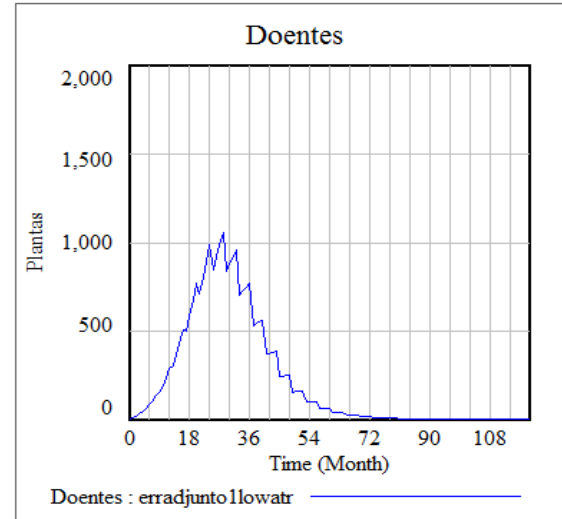
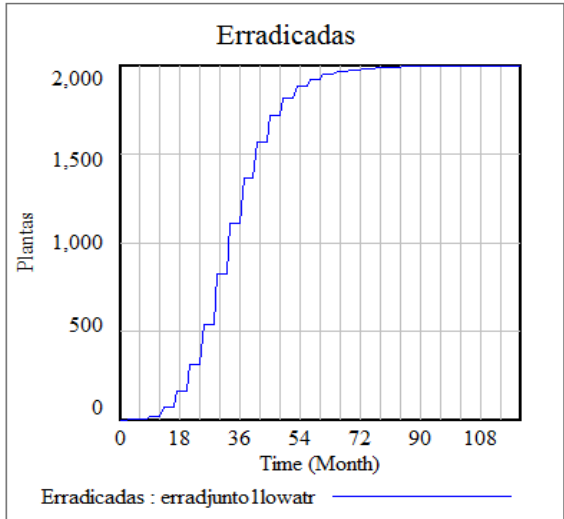
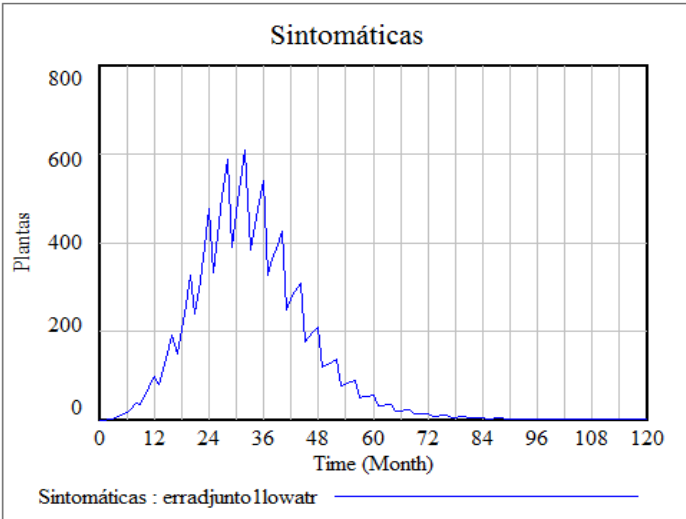
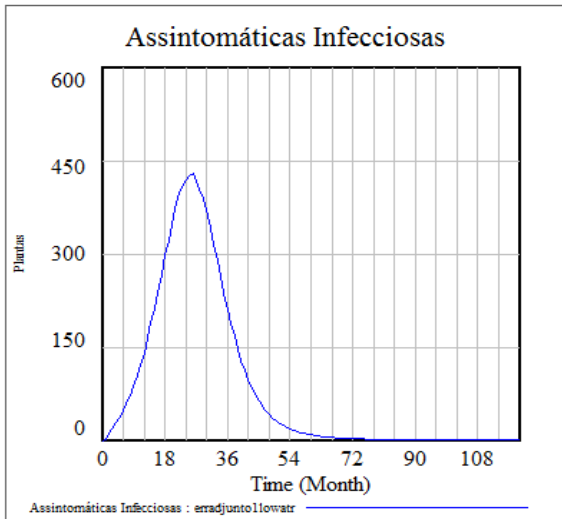
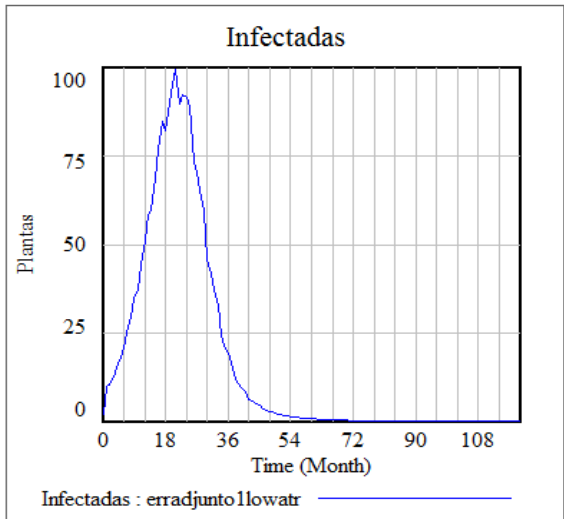
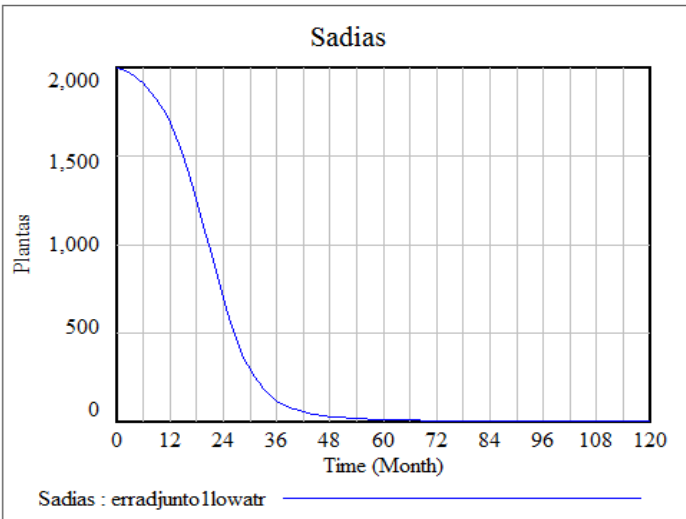


## Parâmetros de Erradicação



# Cryptica: modelo para doenças com infecção críptica

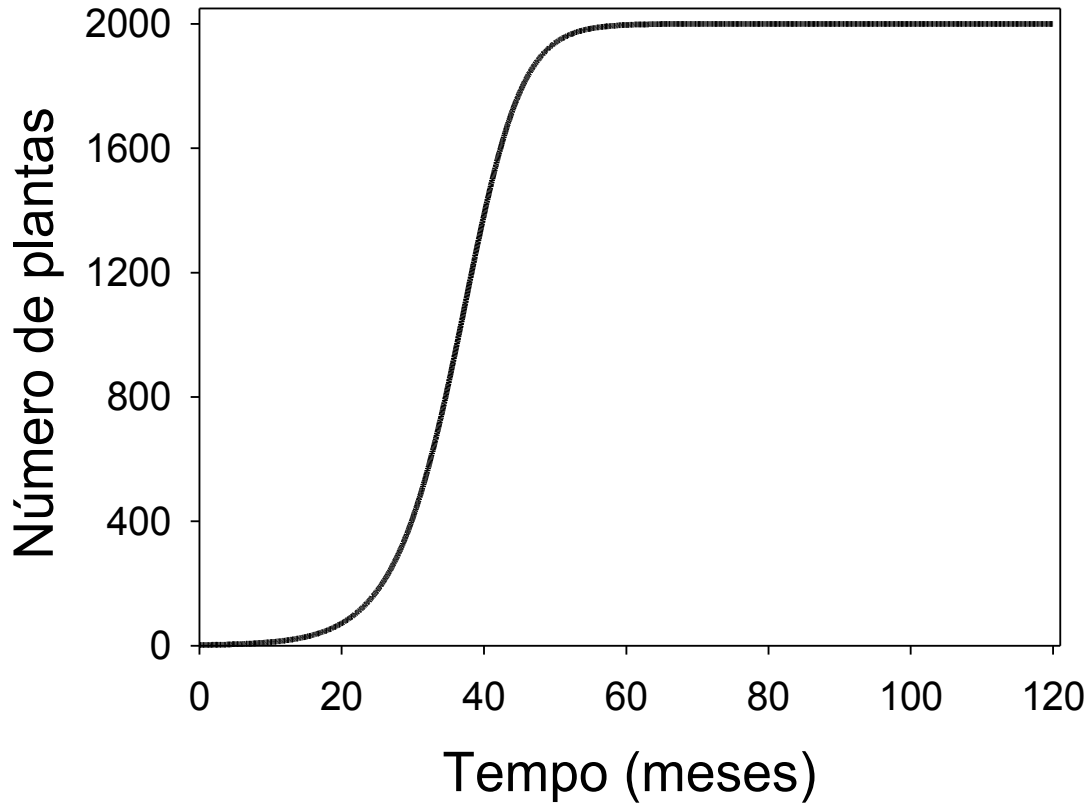
## Resultados Detalhados: Gráficos



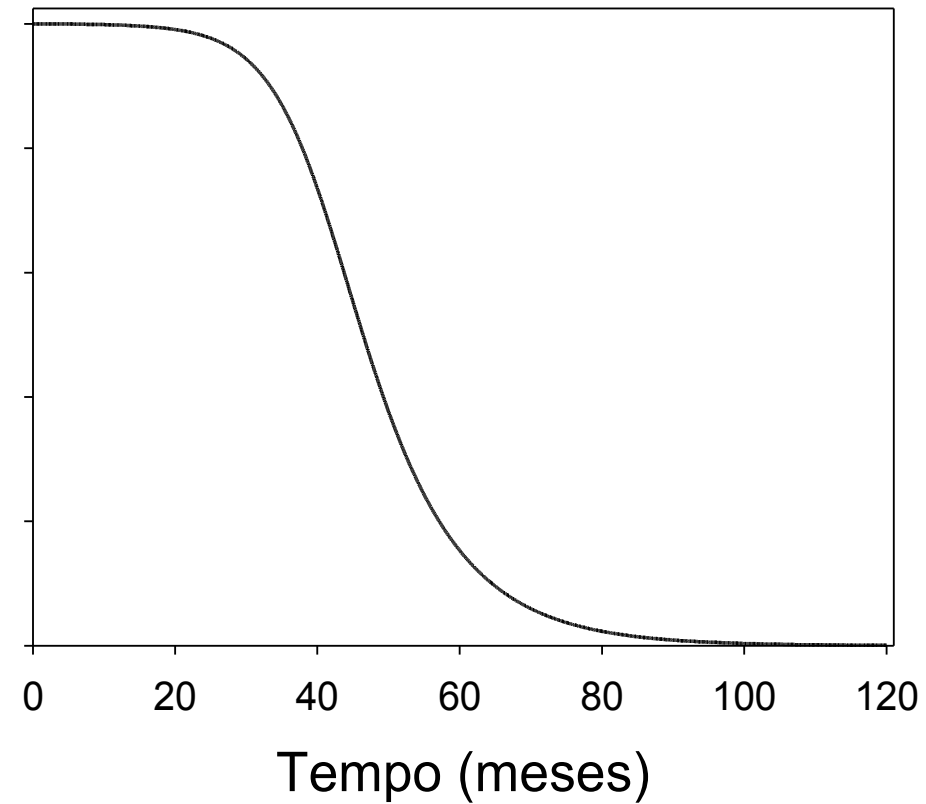


# *Sem controle, perde-se o pomar*

## Sintomáticas

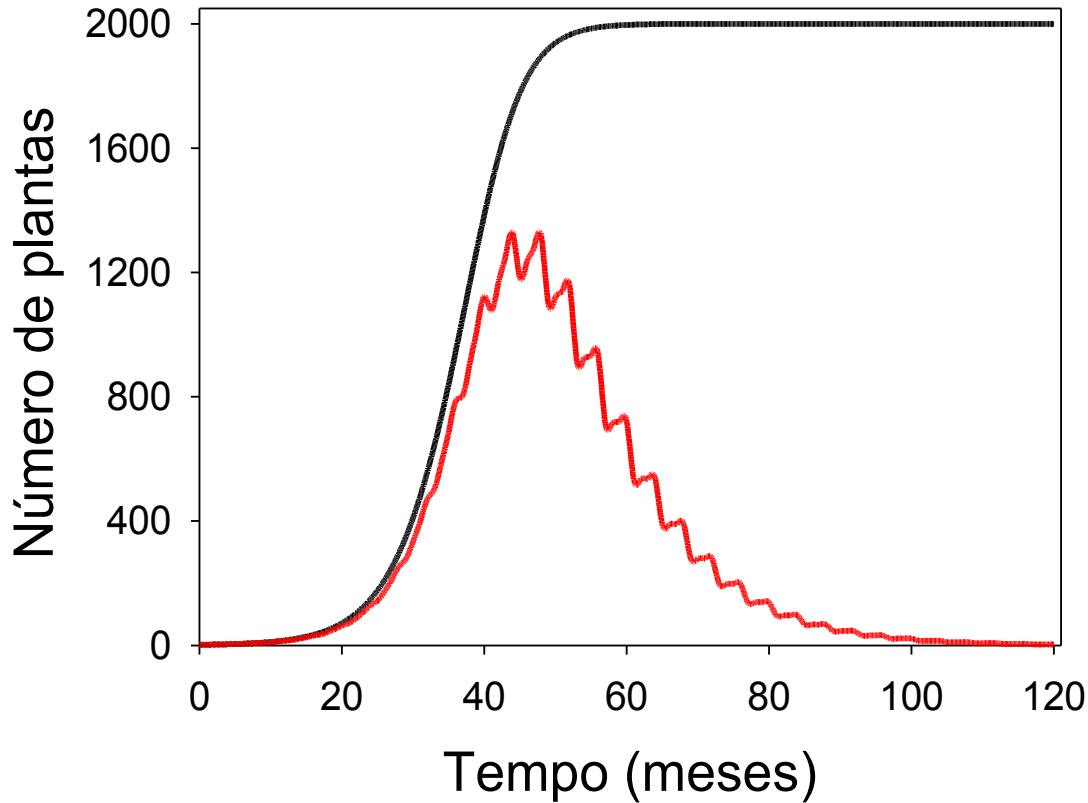


## Produtivas

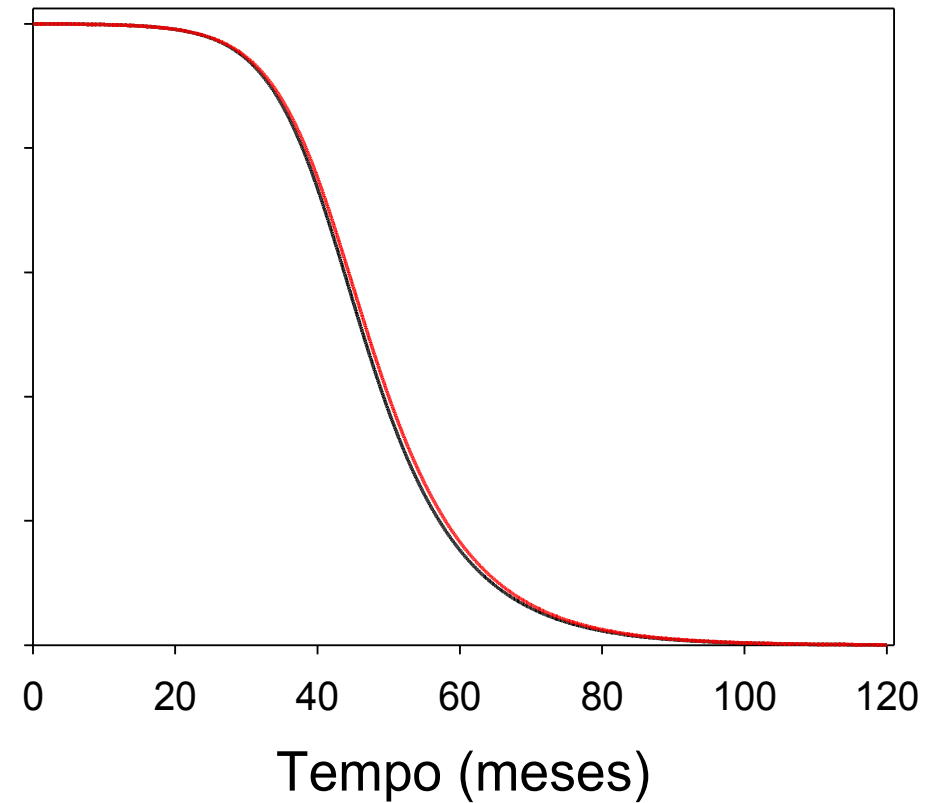


# Roguing trimestral e LOCAL é ineficiente

## Sintomáticas

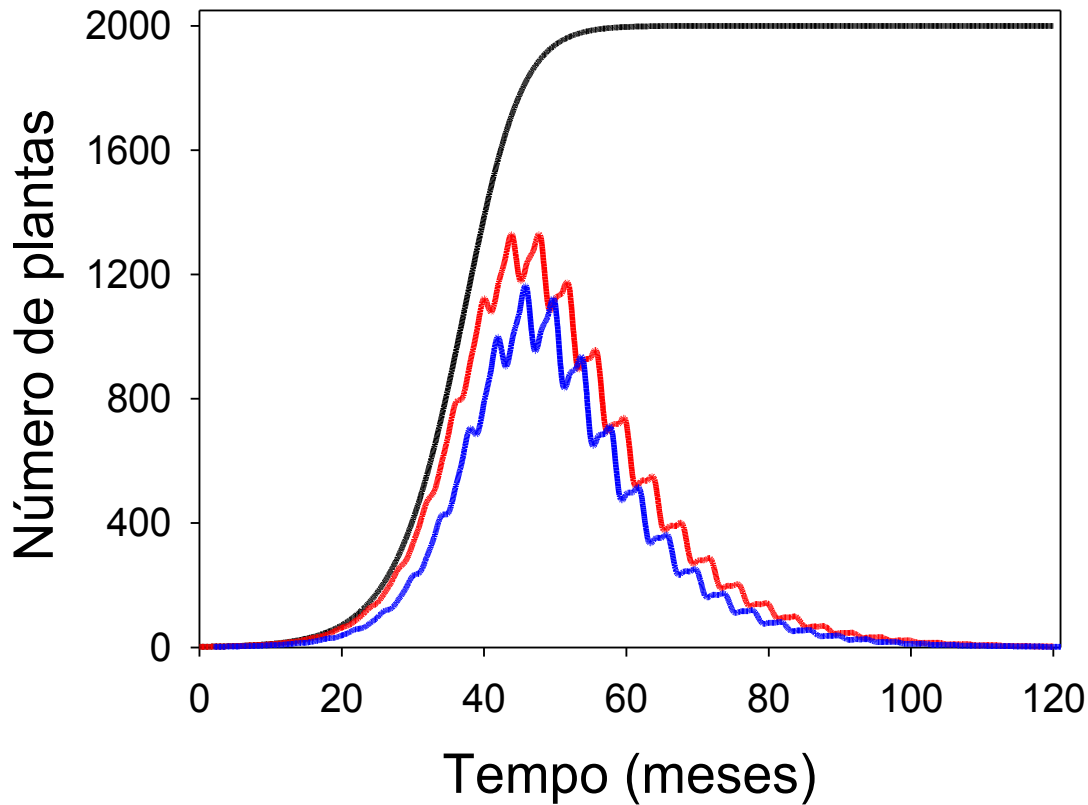


## Produtivas

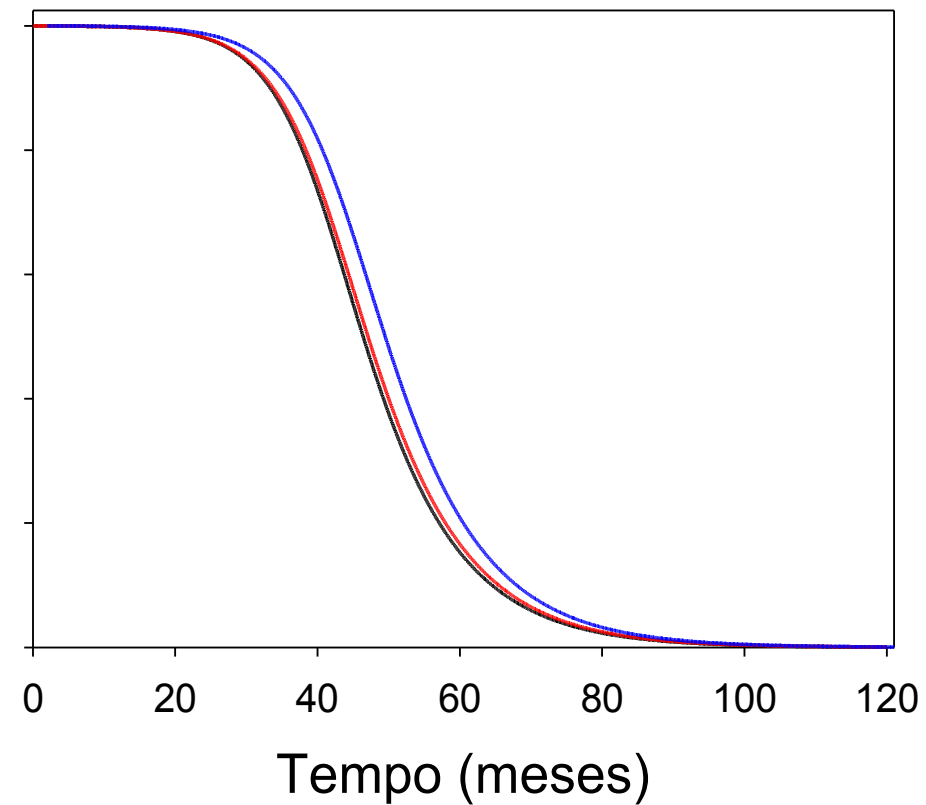


# Aumento da eficiência de detecção traz vantagens

## Sintomáticas

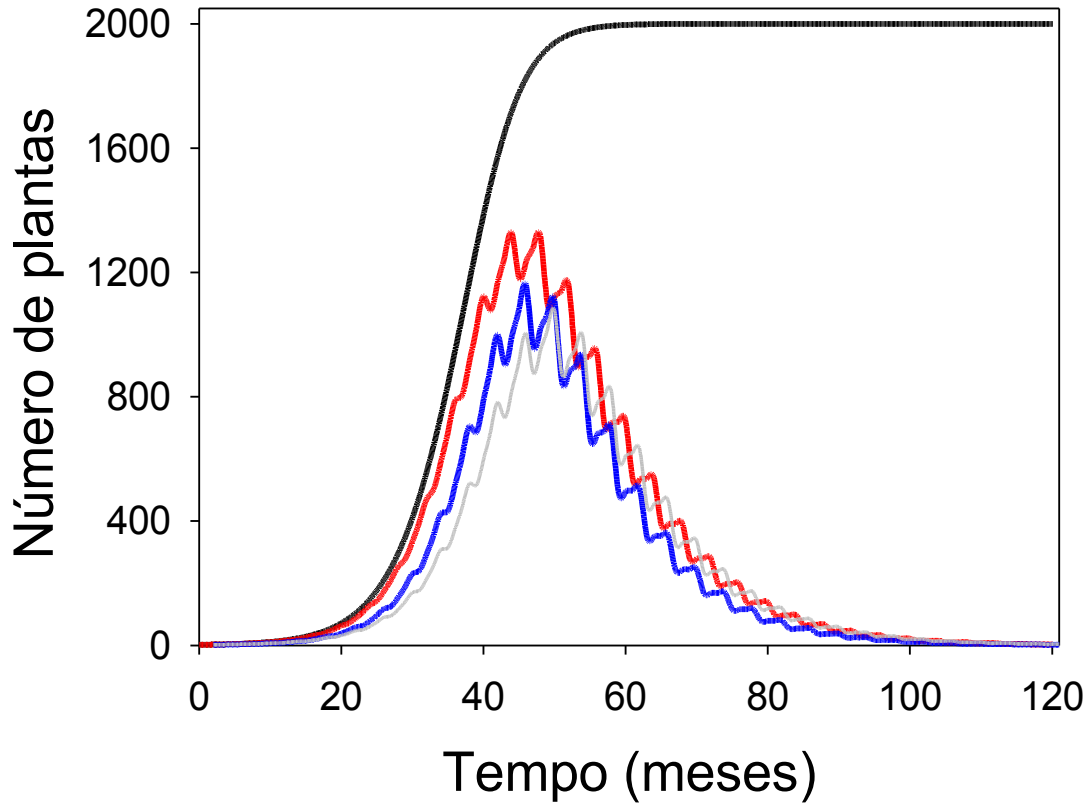


## Produtivas

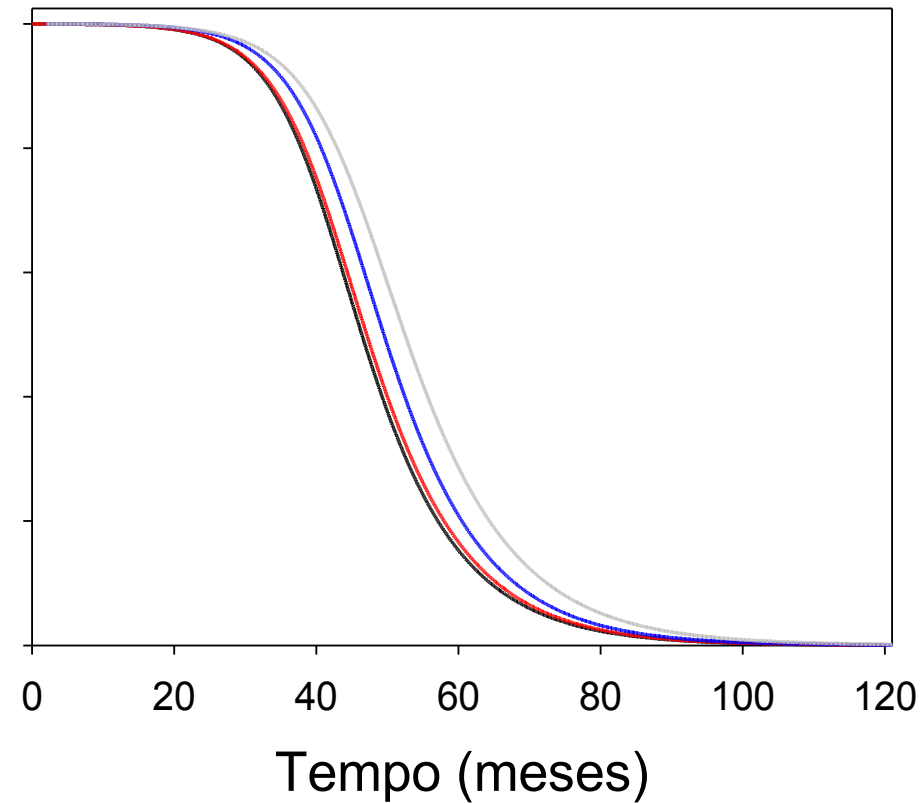


# Roguing REGIONAL aumenta vida útil do pomar

## Sintomáticas



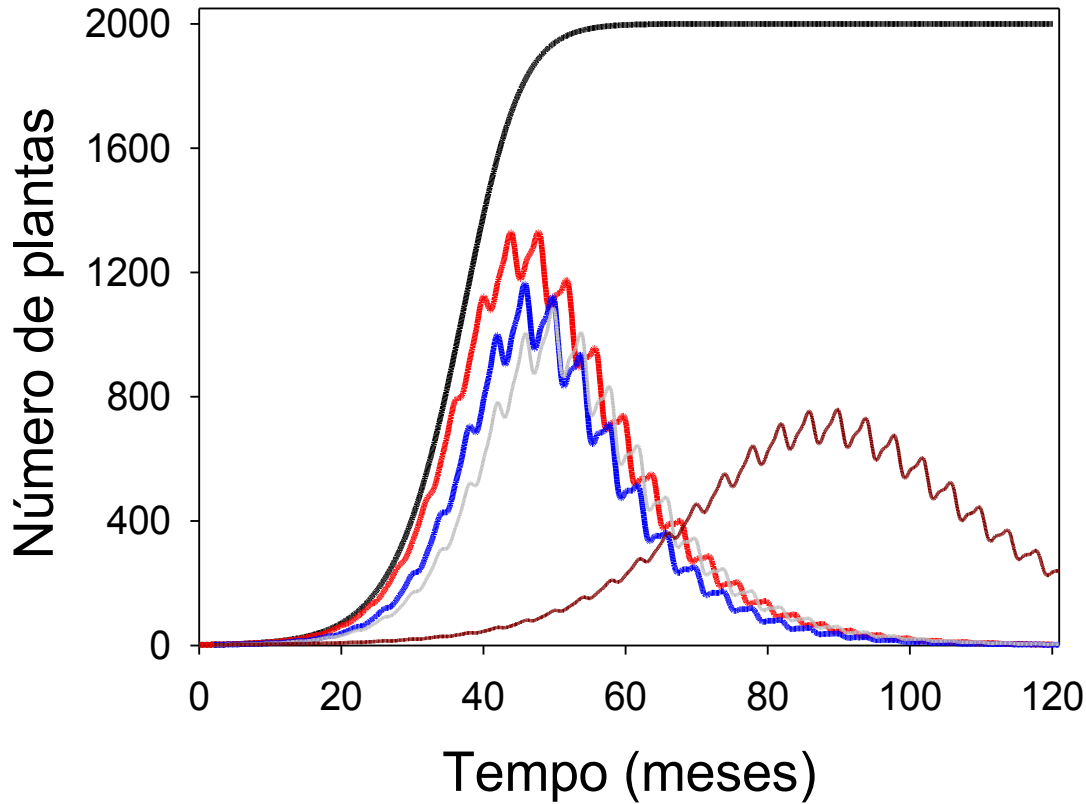
## Produtivas



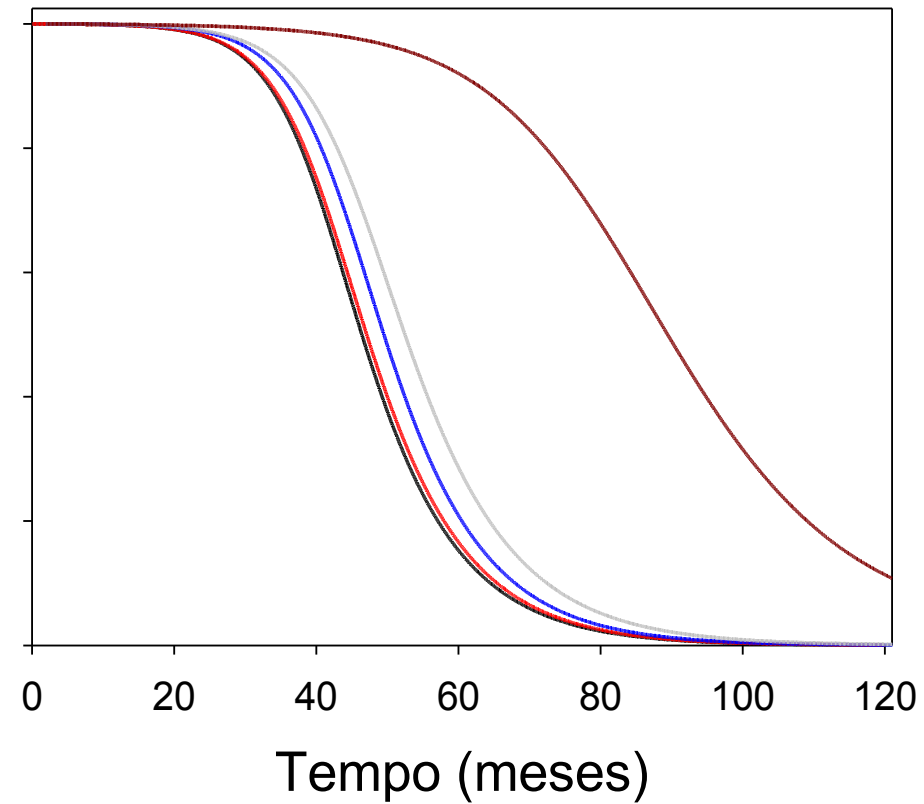


# **Sucesso = Roguing Regional + Redução de Infecções**

## Sintomáticas

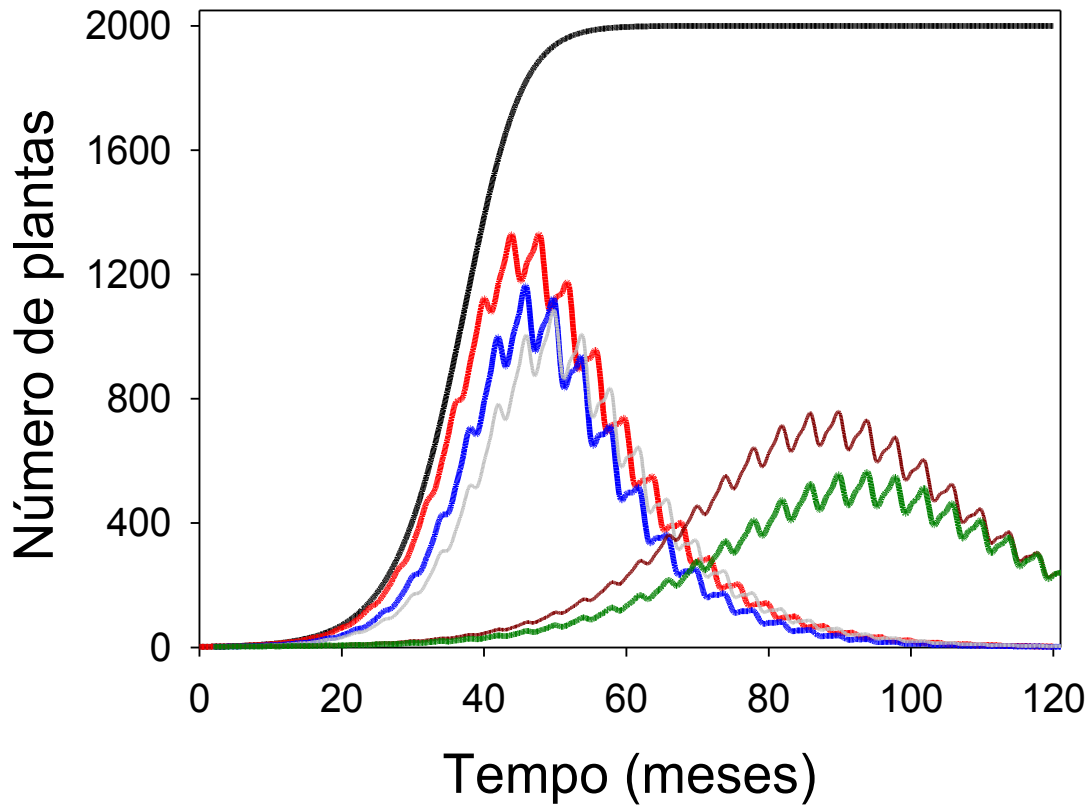


## Produtivas

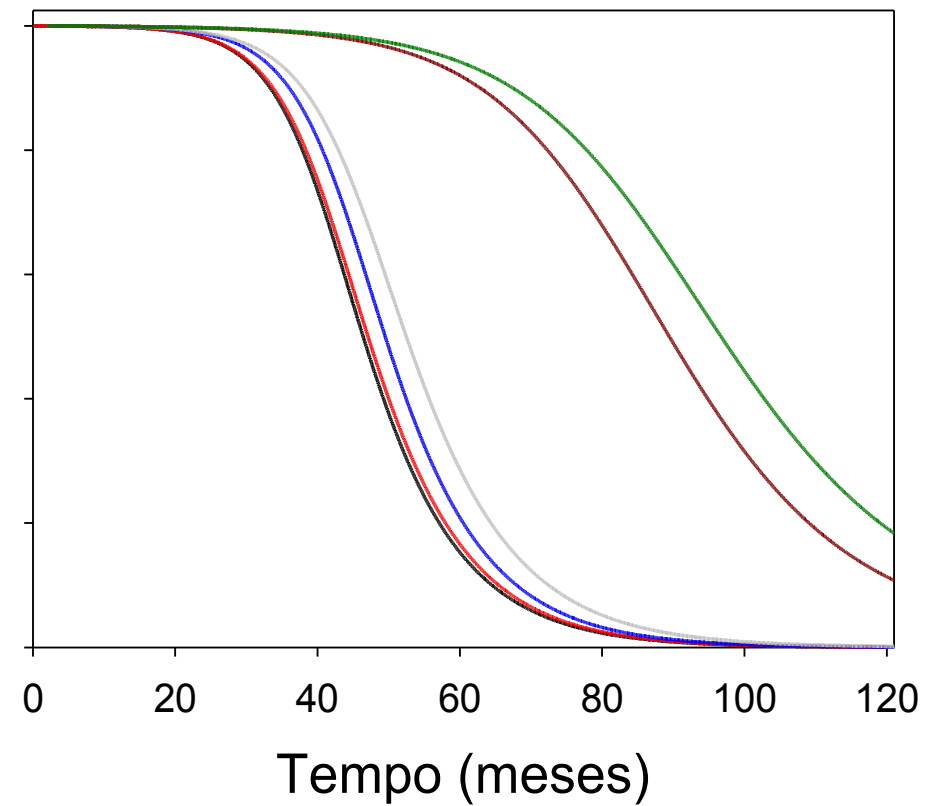


# **Maior Sucesso = Roguing Regional Eficiente e Menos Infecções**

## Sintomáticas

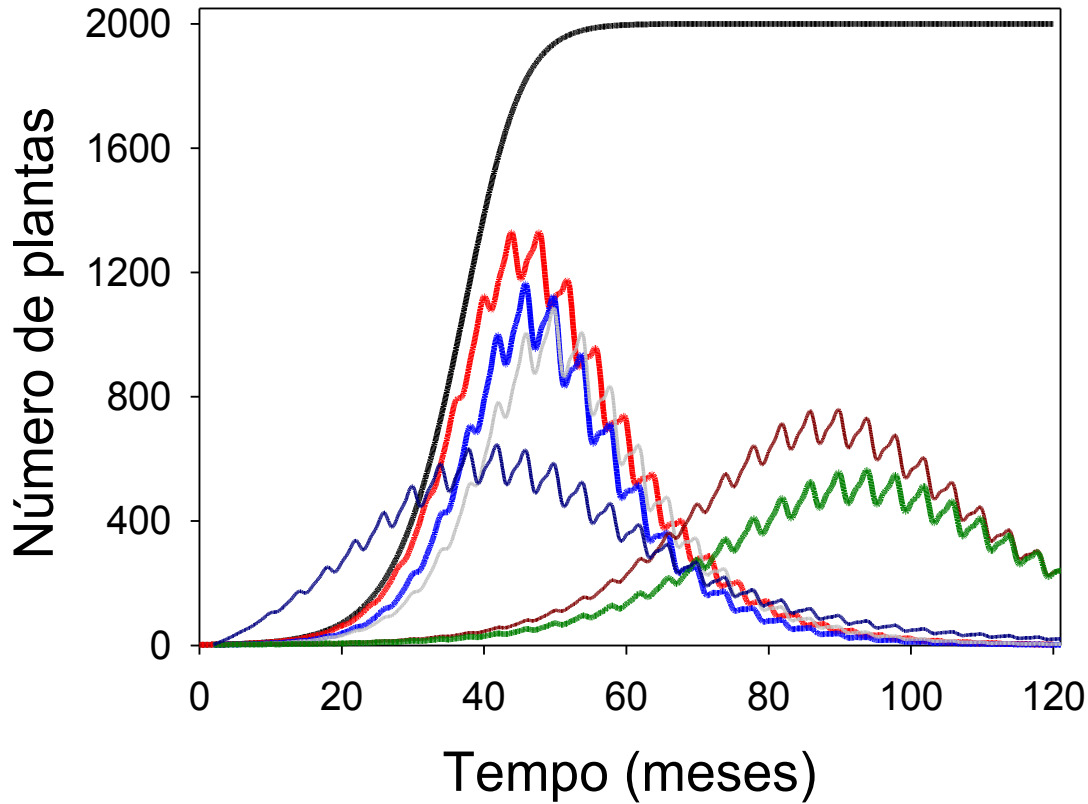


## Produtivas

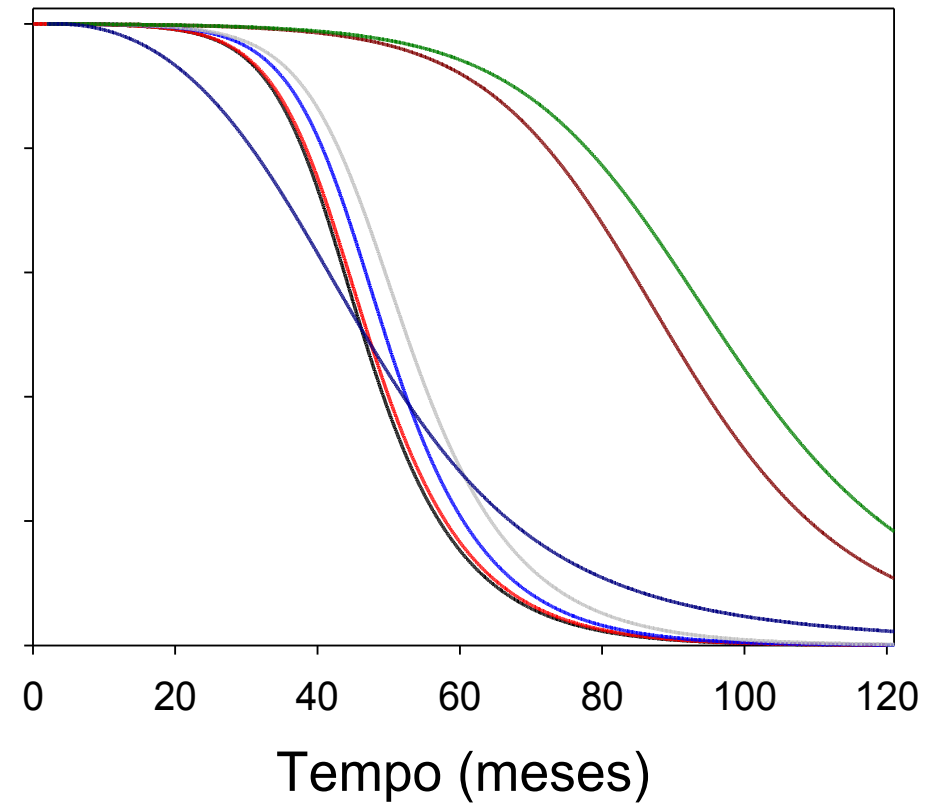


# Migração de vetores infectivos compromete o Manejo

## Sintomáticas



## Produtivas



Obrigado!



CAZBI