

MODELO DE SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA VASSOURA-DE-BRUXA DO CACAUEIRO NA BAHIA

Ricardo B. Sgrillo¹ e Kátia R.P. de Araujo²

¹ CEPLAC, Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), 45.600-000, Itabuna, Bahia, Brasil.

Endereço atual: Comitê de Sanidade Vegetal do Cone Sul (COSAVE), MAARA, 70.043-900, Brasília, DF, Brasil

² Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC/PROPPE), 45660-000, Ilhéus, Bahia, Brasil

Resumo

Desenvolveu-se um modelo determinístico compartimental para simular a evolução da vassoura-de-bruxa do cacauero na Bahia. Os compartimentos representam quantidades de área com diferentes níveis de infecção, sendo representados, matematicamente, por equações diferenciais. Os coeficientes das equações diferenciais são variáveis e calculados por um conjunto de equações algébricas. O modelo foi codificado na Dynamic Simulation Language (DSL/VS) e solucionado numericamente. Efetuaram-se simulações para calibração, comparando os resultados simulados com dados de levantamentos de campo obtidos pelo Centro de Extensão e Educação da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), de 1989 a 1992, e também da avaliação geral de região, realizada em fins de 1993. Realizaram-se simulações adicionais para avaliação da sensibilidade do modelo a alguns de seus parâmetros, assim como simulações referentes a três diferentes cenários: manutenção da situação atual; abandono das plantações e aumento nas taxas de controle da doença. Considerando-se o primeiro cenário, o modelo indica que a produção baiana, no fim do século, atingiria cerca de 40% da produção potencial. Se as plantações forem gradualmente abandonadas, as perdas, na safra 1999/2000, causadas pela vassoura-de-bruxa seriam de cerca de 80%. No entanto, se as condições políticas e de mercado permitirem o controle eficiente da doença, as perdas até o final da década seriam insignificantes.

Palavras-chave: *Theobroma cacao*, modelo matemático, simulação, *Crinipellis perniciosa*

A simulation model for the development of witches' broom disease of cacao in Bahia

Abstract

A deterministic compartmental model for simulation of witches' broom development in Bahia, Brazil, is proposed. The compartments represent areas with different infection levels, and are mathematically represented by differential equations. The equation coefficients are variable and calculated by algebraic equations. The model was coded in Dynamic Simulation Language (DSL/VS) and its solution attained numerically. The model was calibrated by comparing simulation results with results from field surveys made from 1989 to 1991 and by the end of 1993, by the CEPLAC Extension and Education Center (CENEX). Additional simulations were done for sensitivity analysis. Finally, three different scenarios were explored: constant disease control rate, decreasing disease control rate and increasing disease control rate. Considering the first scenario, Bahia cocoa production, by the end of the century, would be 40% of the potential production. If the farmers gradually neglect their plantations (second scenario) the losses in the 1999/2000 season would be about 80%. However, if the political and market conditions permit an efficient control of the disease (third scenario) the losses would be not significant till the end of the present decade.

Key words: *Theobroma cacao*, mathematical model, simulation, *Crinipellis perniciosa*

Introdução

A vassoura-de-bruxa é uma doença fúngica provocada pelo basidiomiceto *Crinipellis perniciosa* (Stabel) Singer, que ataca principalmente tecidos meristemáticos em crescimento, como lançamentos, almofadas florais e frutos de *Theobroma cacao* e de outras espécies, podendo ocasionar perdas na produção de cacau de até 70-90% (Rudgard, Maddison e Andebrhan, 1993). Apesar de mais de 30 anos de pesquisas em vários países, o controle eficiente da doença é problemático devido às características específicas do fungo e consiste essencialmente na retirada (poda) e queima das partes afetadas das plantas.

Em maio de 1989, essa doença, endêmica na Amazônia, foi encontrada no Sul da Bahia, responsável por cerca de 80% da produção de cacau do Brasil, e, desde então, apresentou um crescimento considerável, ocorrendo, hoje, praticamente, em todas as regiões produtoras do Estado. Esse fato, associado à queda do preço do cacau no mercado internacional, vem dificultando a exploração desse produto. Para que um programa de convivência com a doença possa ser implementado, é necessário avaliar a evolução da vassoura-de-bruxa, em diferentes cenários.

Nesse trabalho, é apresentado um modelo matemático, determinístico compartimental, para simular a evolução da vassoura-de-bruxa na Bahia, em função da aplicação de diferentes níveis de controle.

O sistema

As principais informações sobre a biologia, epidemiologia e controle da vassoura-de-bruxa podem ser encontradas em Rudgard, Maddison e Andebrhan (1993). No contexto do presente trabalho, utiliza-se a expressão *infecções por planta* para quantificar o número de lançamentos foliares e almofadas florais por planta que apresentam sintoma da doença.

O início da infecção ocorre quando o basidiósporo germina em um ponto suscetível da planta, que pode ser um lançamento, almofada floral ou fruto. Nessa fase, parasítica, o fungo se desenvolve nos espaços intercelulares, provocando o crescimento excessivo do tecido afetado e causando o sintoma conhecido como *vassoura verde*. A fase parasítica tem duração aproximada de 10 semanas, nas condições da Bahia (Luz, Machado e Almeida, 1994), finda a qual o fungo mata o tecido afetado, penetrando nas células e iniciando a fase saprofítica, com o secamento das vassouras. Cerca de 13 semanas após (Luz, Machado e Almeida, 1994), surgem os basidiocarpos, que iniciam

imediatamente a produção de basidiósporos, reiniciando o ciclo.

Inicialmente, na área afetada, existem poucas plantas infectadas e com poucas infecções por planta, principalmente em lançamentos foliares, não ocorrendo infecção em almofadas florais e frutos. Essas áreas com infecção inicial são categorizadas em **grau I**. Cerca de um ano após, o número de plantas infectadas na área e o número de infecções por planta aumentam bastante, iniciando a infecção nas primeiras almofadas florais, sendo então a área categorizada como **grau II**. No ano seguinte, quase todas as plantas estarão infectadas e o número de vassouras em lançamentos por planta poderá ultrapassar a 1000. Muitas almofadas florais e frutos apresentarão também infecção e a área estará em **grau III** (Laker e Moça, 1990).

O modelo

O modelo desenvolvido é do tipo determinístico compartimental, representando os compartimentos, áreas de cacauais com diferentes níveis de infecção.

Hipóteses

As hipóteses do modelo são representadas utilizando os símbolos de Forrester (1968) (Figura 1). Os quadradinhos são os compartimentos que representam quantidade de área de cada categoria. As linhas sólidas são fluxos de área entre os compartimentos. Os círculos representam variáveis auxiliares, no caso o número de plantas de cada categoria e os pequenos círculos cortados são as constantes ou parâmetros do modelo.

As áreas livres de doença (compartimento SA) passam a áreas de **grau I** (compartimento G1) através de um fluxo, proporcional a taxa de infecção (TX), ao número de plantas infectadas nos diferentes graus (PS, P1, P2 e P3) e ao número de infecções por planta de cada grau (v_1 , v_2 e v_3).

As áreas de **grau I** (G1) passam a áreas de **grau II** (G2) e essas a **grau III** (G3) em função do tempo. Essas áreas voltam a ser livres de infecção através do controle, em função das taxas C1, C2 e C3 que regulam os fluxos que retroalimentam o compartimento SA. Considerou-se, no modelo, como controle, qualquer método aplicado às áreas infectadas, que as tornem livres de infecção novamente.

O número de plantas infectadas nas diferentes áreas é função da proporção de plantas infectadas em cada área (PCT1, PCT2 e PCT3) e do número médio de plantas por hectare (DEN).

Embora não conste na Figura 1, a produção potencial

(considera-se que nenhuma planta está infectada) e a produção obtida são função do número de plantas de cada categoria e da produção, além das proporções de perda das plantas de grau I, II e III.

Formulação

Após o seu estabelecimento, as hipóteses foram formuladas em termos matemáticos. Basicamente o modelo consta de um sistema de equações diferenciais, integradas numericamente, que representam os compartimentos e de um conjunto de equações algébricas para cálculo dos coeficientes e de outras variáveis do sistema. Os compartimentos G1, G2 e G3 foram divididos em 10 classes etárias cada um, representadas por equações diferenciais em cascata, da seguinte forma:

$$\frac{dX_1}{dt} = fe - \frac{X_1}{rt}$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \frac{X_1Z - X_2}{rt} \quad \dots 1$$

$$\frac{dX_{10}}{dt} = \frac{X_9Z - X_{10}}{rt}$$

onde X₁, X₂, ..., X₁₀ são o conteúdo das classes

do compartimento, fe é o fluxo de entrada na primeira classe (equações 7, 8 e 9), Z é a proporção da classe anterior que sobrevive (equação 4), representando a taxa de controle, e rt é o tempo de residência na classe (constante).

O fluxo de saída (fs) do compartimento é calculado pela equação 2:

$$fs = \frac{X_{10}Z}{rt} \quad \dots 2$$

O total no compartimento é dado pela soma das classes:

$$G1 = X_1 + X_2 + \dots + X_{10} \quad \dots 3$$

A variável Z, das equações 1 e 2, é calculada em função da proporção de controle executado em cada compartimento:

$$Z = (1 - c)^{t/rtc} \quad \dots 4$$

onde c é a proporção de controle no compartimento e rtc é o período necessário para executar o controle nas áreas consideradas (constante).

O fluxo de novas infecções é calculado pela equação 5:

$$inf = \frac{SA * tx * (p1 * v1 + p2 * v2 + p3 * v3)}{den * vt} \quad \dots 5$$

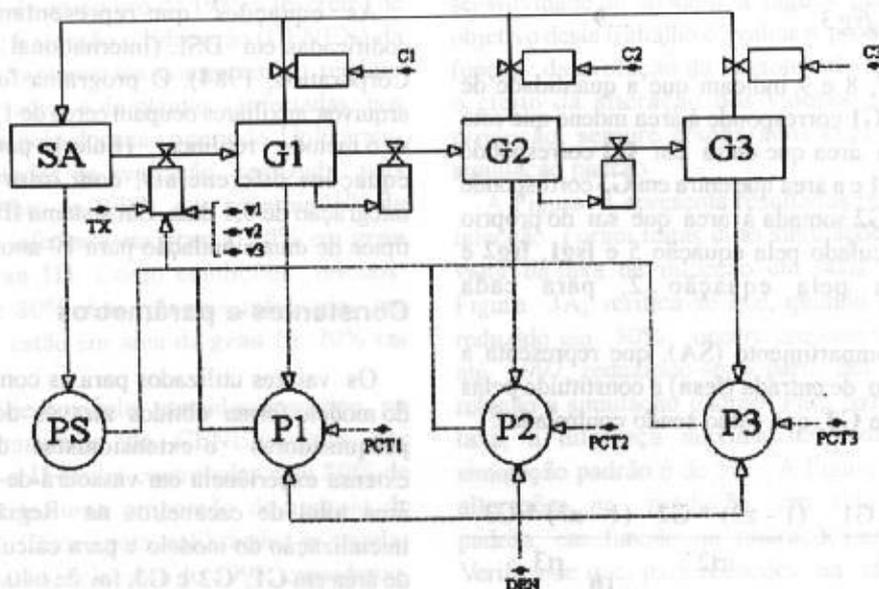


Figura 1 - Representação gráfica das hipóteses do modelo, segundo simbologia de Forrester (1968).

onde *inf* é a quantidade de área indene infectada por unidade de tempo, *SA* é área indene atual (primeiro compartimento), *tx* é a taxa de infecção, *p1*, *p2* e *p3* são o número de plantas nas áreas de grau I, II e III, respectivamente (equação 6), *v1*, *v2* e *v3* são o número médio de infecções por planta nas áreas de grau I, II e III, respectivamente (constantes), e *vt* é a soma de *v1*, *v2* e *v3*.

O número de plantas é dividido pela densidade populacional (*den* = plantas/hectare) para manter a consistência dimensional. A equação 5, em última análise, representa um dos princípios da epidemiologia, pelo qual o número de novas infecções é proporcional ao produto dos indivíduos sadios pelos indivíduos infectados e pela taxa de infecção.

O número de plantas é calculado a partir da área infectada (*G1*, *G2* e *G3*), da proporção de plantas infectadas em cada área (*prp1*, *prp2* e *prp3* - constantes) e da densidade populacional (*den*), conforme equação 6:

$$p1 = G1 \times prp1 \times den \quad \dots 6$$

com equações similares para *p2* e *p3*.

Os fluxos de entrada nos compartimentos *G1*, *G2* e *G3* são calculados pelas equações abaixo:

$$feg1 = inf \quad \dots 7$$

$$feg2 = fsg \quad \dots 8$$

$$feg3 = fsg2 + fsg3 \quad \dots 9$$

As equações 7, 8 e 9 indicam que a quantidade de área que entra em *G1* corresponde à área indene que está sendo infectada, a área que entra em *G2* corresponde à área que sai de *G1* e a área que entra em *G3* corresponde à área que sai de *G2* somada à área que sai do próprio *G3*, sendo *inf* calculado pela equação 5 e *fsg1*, *fsg2* e *fsg3* calculados pela equação 2, para cada compartimento.

No primeiro compartimento (*SA*), que representa a área indene, o fluxo de entrada (*fesa*) é constituído pelas áreas em *G1*, *G2* e *G3*, que estão sendo controladas:

$$fesa = \frac{(1 - z1) * G1}{rt1} + \frac{(1 - z2) * G2}{rt2} + \frac{(1 - z3) * G3}{rt3} \quad \dots 10$$

sendo *z1*, *z2* e *z3* calculados conforme a equação 4.

A equação diferencial que representa o

compartimento *SA* é dada, portanto, por:

$$\frac{dSA}{dt} = fesa - inf \quad \dots 11$$

A produção potencial (*PP*) é calculada integrando-se a taxa de produção por árvore, por dia, multiplicada pela população total de cacau:

$$\frac{dPP}{dt} = \frac{prm * (SA * G1 * G2 * G3)}{den * 365} \quad \dots 12$$

onde *PP* é a produção potencial e *prm* (constante) é a produção média em unidade de peso por hectare por ano.

Finalmente, para cálculo da produção obtida (*PO*) consideraram-se as perdas que ocorreram em plantas nas áreas de grau I, II e III:

$$\frac{dPO}{dt} = \frac{prm * [SA + G1 * (1 - pd1) + G2 * (1 - pd2) + G3 * (1 - pd3)]}{den * 365} \quad \dots 13$$

onde *pd1*, *pd2* e *pd3* (constantes) são as proporções de perdas de produção por planta nas áreas de grau I, II e III, respectivamente.

O programa

As equações que representam o modelo foram codificadas em DSL (International Business Machines Corporation, 1984). O programa fonte, compilado, e arquivos auxiliares ocupam cerca de 150 kbytes. Utilizou-se o método retilinear (Euler) para integração das equações diferenciais, com intervalo de tempo de integração de 0,1 dias. Em sistema IBM 4381, a duração típica de uma simulação para 10 anos é de três minutos.

Constantes e parâmetros

Os valores utilizados para as constante e parâmetros do modelo foram obtidos através de entrevistas com pesquisadores e extensionistas da CEPLAC, com extensa experiência em vassoura-de-bruxa na Bahia. A área total de cacauzeiros na Região, utilizada para inicialização do modelo e para cálculo das percentagens de área em *G1*, *G2* e *G3*, foi de 640.000 ha. Utilizaram-se como densidade populacional média (*den*) 615 plantas por hectare. O número de infecções por planta (*v1*, *v2* e

v3) nas áreas G1, G2 e G3 (v1, v2 e v3) foi de 1, 6 e 100, respectivamente. Os tempos de residência (rt) em cada classe dos compartimentos G1, G2 e G3 foram de 54,7, 36,5 e 36,5 dias, respectivamente. O tempo necessário (rtc) para aplicação do controle nas áreas infectadas foi fixado em 90 dias. A proporção de plantas infectadas nas áreas G1, G2 e G3 (prp1, prp2 e prp3) foi de 0,02, 0,04 e 0,85, respectivamente. A produção potencial média utilizada (prm) foi de 450 kg/ha/ano. As proporções de perda por planta infectada (pd1, pd2 e pd3) nas áreas G1, G2 e G3 foram de 0,02, 0,15 e 0,85, respectivamente. As proporções de controle (c1, c2 e c3) nas áreas G1, G2 e G3 foram variáveis nas simulações.

Simulações

Os resultados das simulações iniciais foram utilizados nos processos de verificação a fim de retirar erros do programa. As simulações seguintes foram executadas para calibração e testes de sensibilidade do modelo aos parâmetros. Finalmente, após considerações sobre a validação do modelo, foram realizadas simulações para avaliação das perspectivas de evolução da vassoura-de-bruxa na Bahia e suas conseqüências na produção.

Calibração

A única constante do modelo que foi estimada por calibração foi a taxa de infecção (tx). Para estimativa dessa constante utilizaram-se dados de levantamentos de campo realizados de dezembro de 1989 a fevereiro de 1992 pelo Centro de Extensão e Educação (CENEX) da CEPLAC. Esses levantamentos constaram do registro semanal de plantas sadias e de plantas infectadas nos municípios atingidos pela doença no período. Utilizaram-se igualmente resultados de avaliação realizada pela CEPLAC em dezembro de 1993, que apontou 56% da área total da região infectada em grau I, 10% em grau II e 3,5% em grau III. Como condições iniciais, considerou-se que 80% das plantas infectadas em dezembro de 1989 estão em área de grau I e 20% em área de grau II.

Para proporção de controle, considerou-se que, no período dos levantamentos do CENEX, 80% das áreas de grau I e II foram controladas com 80% de eficiência, o que produz uma proporção de controle de 0,64 para c1 e c2. Como, para calibração, as simulações foram realizadas até dezembro de 1993, considerou-se uma queda linear na proporção de controle, passando de 0,64 em fevereiro de 1992 para 0,28 em dezembro de

1993. O valor de 0,28 foi escolhido considerando-se a avaliação de que 10% dos produtores controlavam a doença com 90% de eficiência e 65% com 30% de eficiência. Considerou-se igualmente que as áreas de grau III não são controladas.

Os resultados da simulação para calibração constam nas Figura 2A e 2B. Na Figura 2A, é apresentada a evolução no número de plantas infectadas encontradas no levantamentos e os valores obtidos na simulação. Na Figura 2B são apresentadas as percentagens de áreas infectadas simuladas para 1993 e os valores da avaliação realizada no fim daquele ano.

O acréscimo mais acentuado nos valores reais, que ocorreu em fevereiro e março de 1991, deveu-se provavelmente ao lançamento foliar que ocorreu nessa época. No entanto, a inclinação média das curvas real e simulada parecem semelhantes. A aproximação da simulação com os resultados da avaliação de 1993 foi considerada satisfatória.

O valor da taxa de infecção (tx) que produziu esses resultados foi de $4,5E-6$, valor esse utilizado nas simulações para análise de sensibilidade e avaliação das perspectivas de evolução da doença.

Sensibilidade

Inicialmente, realizou-se uma simulação padrão com os valores das constantes, conforme apresentado em *Constantes e parâmetros* e com os valores da taxa de infecção, das proporções de controle e das condições iniciais, conforme apresentado em *Calibração*. Realizaram-se, a seguir, simulações para avaliação da sensibilidade do modelo a alguns parâmetros. Como o objetivo deste trabalho é avaliar a produção regional em função da evolução da vassoura-de-bruxa, verificou-se o efeito da alteração nos valores das constantes na produção, sempre comparados com os resultados da simulação padrão.

A Figura 3 apresenta resultados referentes à taxa de infecção. Foram feitas duas simulações, alterando-se o valor da taxa de infecção em mais e menos 50%. Na Figura 3A, verifica-se que, quando o valor da taxa é reduzido em 50%, ocorre crescimento na produção até 1997, reduzindo-se, a partir daí, as diferenças em relação à simulação padrão. Para redução de 50% na taxa, a diferença máxima na produção em relação à simulação padrão é de 5%. A Figura 3B apresenta as alterações na produção, em relação à simulação padrão, em função de alterações na taxa de infecção. Verifica-se que, para reduções na taxa de infecção, a sensibilidade da produção é de -0,10, ou seja, para cada 1% de redução na taxa, há um aumento de 0,1% na

produção. Para incrementos na taxa, a sensibilidade é de $-0,05$. A sensibilidade média é de $-0,07$.

A sensibilidade da produção à alterações na proporção de perdas é mais elevada, como pode ser verificado nas Figuras 4A e 4B. A sensibilidade, nesse caso, foi de $-0,39$ ao incremento ou redução na proporção de perdas.

A Figura 5 apresenta os resultados referentes à análise de sensibilidade da produção à alterações no tempo de residência no compartimento G1. Para reduções no tempo de residência, a sensibilidade é de $0,31$. Para incrementos, é de $0,13$, sendo a sensibilidade média de $0,22$.

A sensibilidade ao tempo de residência em G2 foi

semelhante ao tempo de residência em G1. De maneira geral, concluiu-se que a sensibilidade da produção aos parâmetros do modelo é baixa, o que permite uma flexibilidade considerável na escolha dos valores das constantes sem alteração considerável na análise das tendências da produção, em função da evolução da vassoura-de-bruxa.

Validação

Validação é o estabelecimento da credibilidade do modelo em função dos seus objetivos. Para modelos de sistemas biológicos, é um processo complexo, que pode

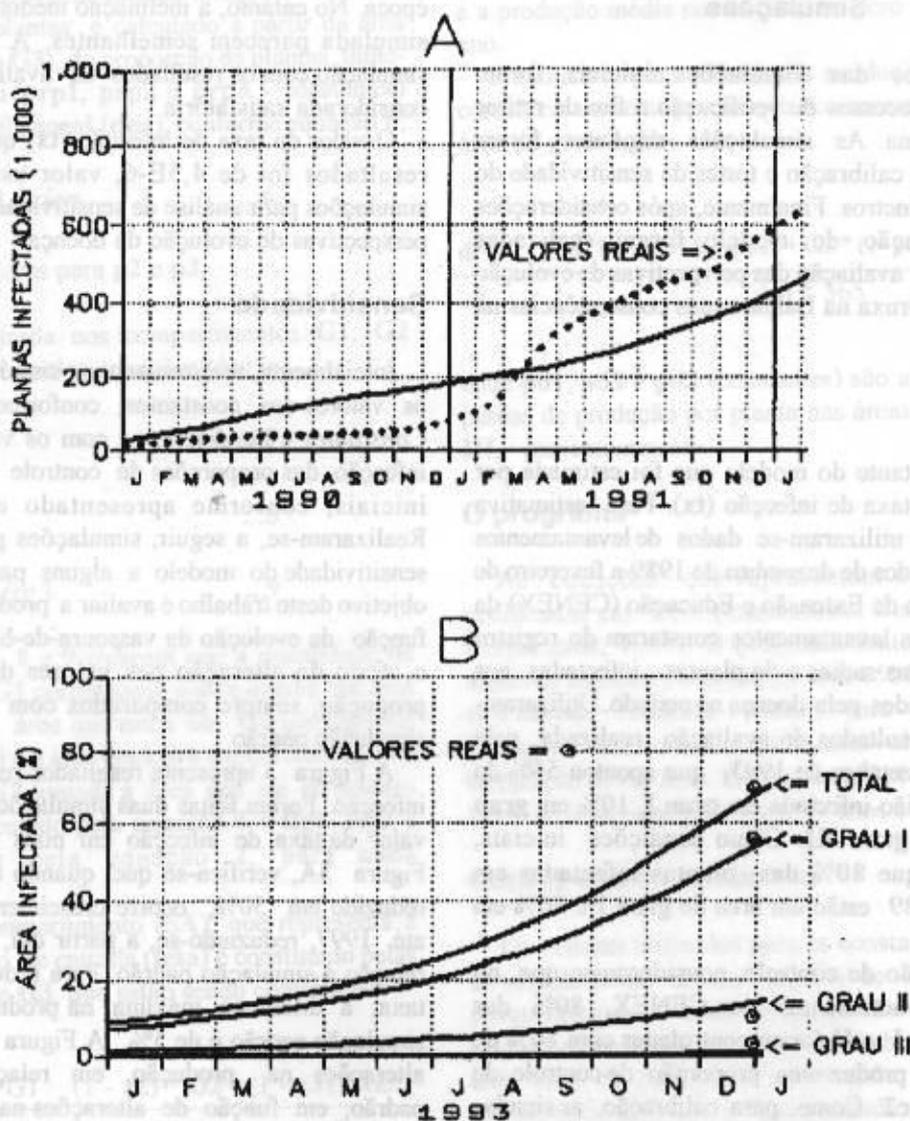


Figura 2 - Resultados simulados e reais, obtidos com a calibração do modelo. A: levantamentos realizados pela CEPLAC em 1990 e 1991; B: avaliação realizada em dezembro de 1993.

ser considerado mais arte do que ciência, por envolver muitos fatores subjetivos. Como existe uma elevada autocorrelação nos modelos determinísticos, não são utilizados níveis de significância para testes estatísticos entre valores simulados e observados, pois esses testes (χ^2 e correlação, por exemplo) pressupõem independência das observações.

No presente caso, os dados reais de evolução da vassoura-de-bruxa existentes foram usados na calibração do modelo, não podendo ser utilizados no processo de validação. No entanto, enquanto se aguarda a realização de levantamentos de campo que permitam a validação tradicional do modelo, submetem-se diversos resultados de simulações a extensionistas e pesquisadores

conhecedores da vassoura-de-bruxa, tendo a maioria aceito os resultados, em função da sua experiência no acompanhamento da evolução da doença.

Dessa forma, até que sejam obtidos dados adicionais e considerando-se a simplicidade da estrutura do modelo, a baixa sensibilidade da produção aos parâmetros e a aceitação intuitiva dos resultados por pessoas experientes, acredita-se que o modelo possa ser utilizado como indicador das tendências da produção em diferentes cenários de controle.

Perspectivas de evolução

Para avaliar as perspectivas de evolução da doença,

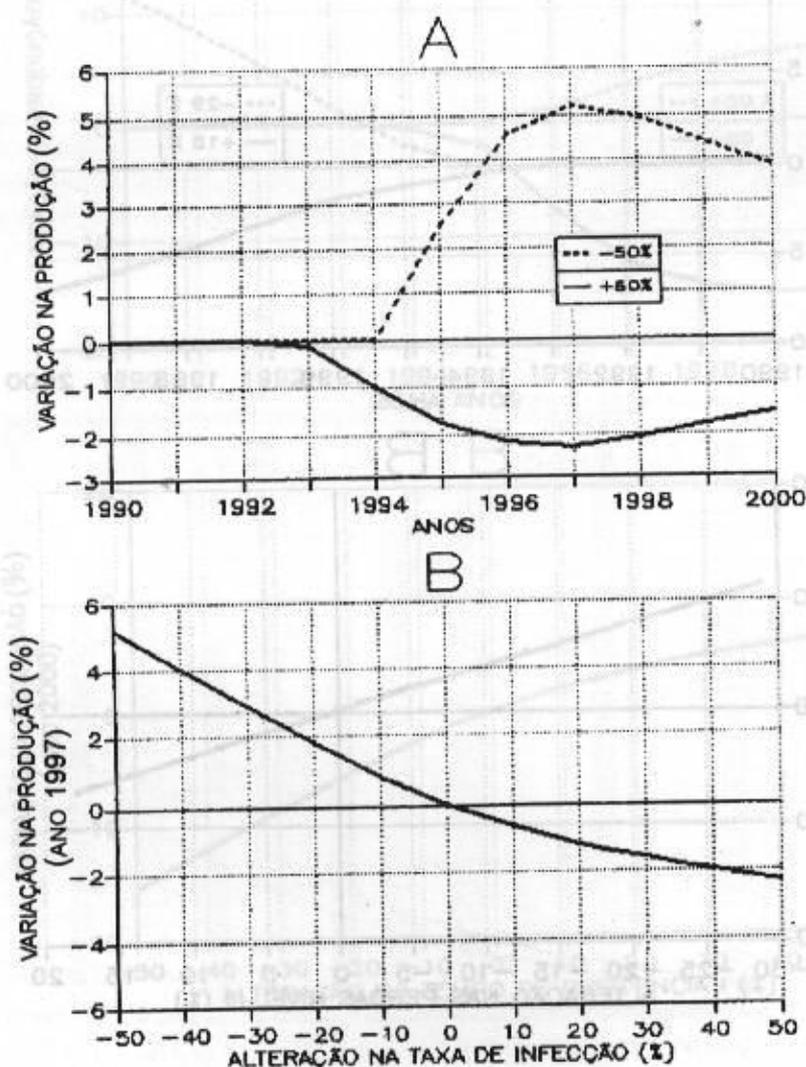


Figura 3 - Sensitividade do modelo à taxa de infecção (tx). A: alteração percentual na produção anual de cacau em função de alterações de mais e menos 50% na taxa de infecção; B: alteração percentual na produção da safra 96/97 em função de alterações na taxa de infecção.

foram realizadas algumas simulações, alterando os valores das taxas de controle (c1, c2 e c3), de maneira a representar três diferentes cenários.

Cenário 1 - Manutenção da situação atual

Se as atuais condições de preço do cacau continuarem nesta década e se não for desenvolvido método eficiente de controle de vassoura-de-bruxa, mais viável economicamente, é provável que as condições

observadas atualmente persistam no futuro. Essa situação, que representa a manutenção da situação atual, pressupõe controle em 64% das áreas de grau I e II (G1 e G2) em 1989, 1990 e 1991 e um decréscimo linear até 28% em dezembro de 1993, mantendo-se esse valor até o ano 2000. A origem dos valores de 64% e 28% está descrita em *Calibração*. Para o compartimento G3 (áreas em grau III), a taxa de controle foi mantida em zero, conforme se observa na atualidade.

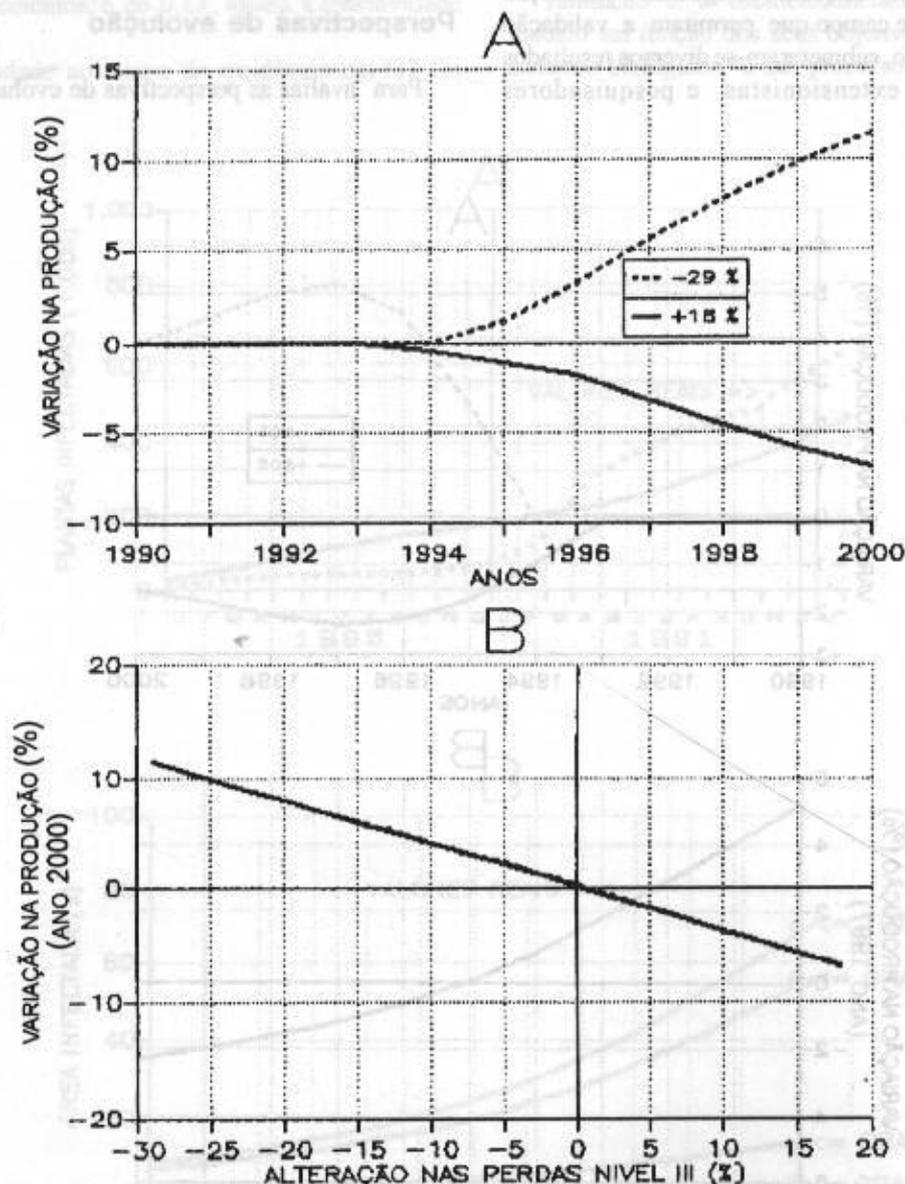


Figura 4 - Sensitividade do modelo à proporção de perdas em plantas de nível II (pd3). A: alteração percentual na produção anual de cacau em função de alterações de mais 18% e menos 28% na proporção de perdas; B: alteração percentual na produção da safra 1999/2000 em função de alterações na proporção de perdas.

Os resultados são apresentados na Figura 6. Verifica-se que, no final de 1995, toda a região estará afetada pela doença. As áreas com grau I atingem um pico em meados de 1994, passando então a decrescer, enquanto as áreas de grau II e III aumentam. As áreas de grau II atingem o máximo no final de 1995. As áreas de grau III tem um crescimento aproximadamente linear, atingindo 60% da área total da Região em meados de 2000. Em decorrência, já há quebra na produção, devido à vassoura-de-bruxa, na safra 94/95. A safra 1999/

2000 seria, nessas condições, cerca de 60% da produção potencial da região.

Segundo projeções da International Cocoa Organization (1993), se as atuais condições de baixos preços persistirem, a produção brasileira será, na safra 1999/2000, de cerca de 270.000 toneladas, sem considerar o efeito da vassoura-de-bruxa. Essas projeções reconhecem, no entanto, que, se não forem encontrados métodos efetivos e economicamente viáveis de controle da doença, a queda na produção poderá ser

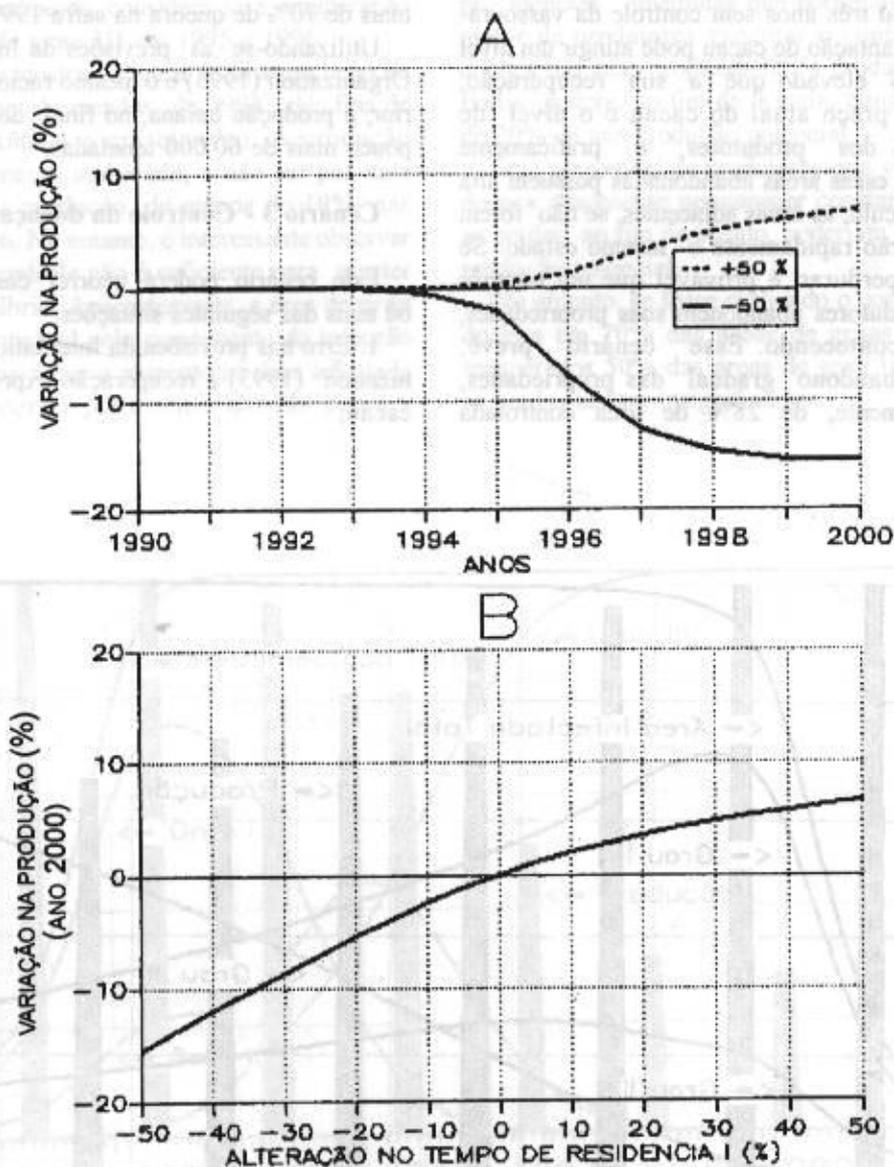


Figura 5 - Sensitividade do modelo ao tempo de residência em G1 (rt1). A: alteração percentual na produção anual de cacau em função de alterações de mais e menos 50% no tempo de residência; B: alteração percentual na produção da safra 1999/2000 em função de alterações no tempo de residência.

muito mais severa, pois, no Equador (onde a vassoura-de-bruxa é endêmica), a produtividade é cerca da metade da produtividade da Bahia. Se for considerado que a Bahia é responsável por 80% da produção brasileira e, se as projeções da International Cocoa Organization e do presente trabalho forem corretas, a safra baiana, no final da década, será de 130.000 toneladas, menos da metade da safra 92/93.

Cenário 2 - Abandono das plantações

Após dois ou três anos sem controle da vassoura-de-bruxa, uma plantação de cacau pode atingir um nível de infecção tão elevado que a sua recuperação, considerando o preço atual do cacau e o nível de descapitalização dos produtores, é praticamente inviável. Como essas áreas abandonadas possuem alta densidade de inóculo, as áreas adjacentes, se não forem cuidadas, atingirão rapidamente o mesmo estado. Se essa tendência perdurar, é provável que um número crescente de produtores abandonem suas propriedades, como já vem acontecendo. Esse cenário prevê, portanto, o abandono gradual das propriedades, passando, linearmente, de 28% de área controlada

eficientemente em 1993 para 0% em 2000.

Os resultados decorrentes dessa situação são apresentados na Figura 7. No final de 1994, toda a Região estará afetada pela doença. As áreas com grau I declinam acentuadamente a partir de meados de 1994 e as de grau II a partir do início de 1996. Conseqüentemente, a partir do início de 1994, as áreas em grau III passam a ter um crescimento exponencial, atingindo toda a Região em meados de 1998. Como conseqüência, a produção sofre um declínio também exponencial, tendo quebra de mais de 20% na safra 95/96 e chegando a mais de 70% de quebra na safra 1999/2000.

Utilizando-se as previsões da International Cocoa Organization (1993) e o mesmo raciocínio do item anterior, a produção baiana, no final do século, será de pouco mais de 60.000 toneladas.

Cenário 3 - Controle da doença

Este cenário poderá ocorrer caso se realizem uma ou mais das seguintes situações:

1. Erro nas previsões da International Cocoa Organization (1993) e recuperação expressiva do preço de cacau;

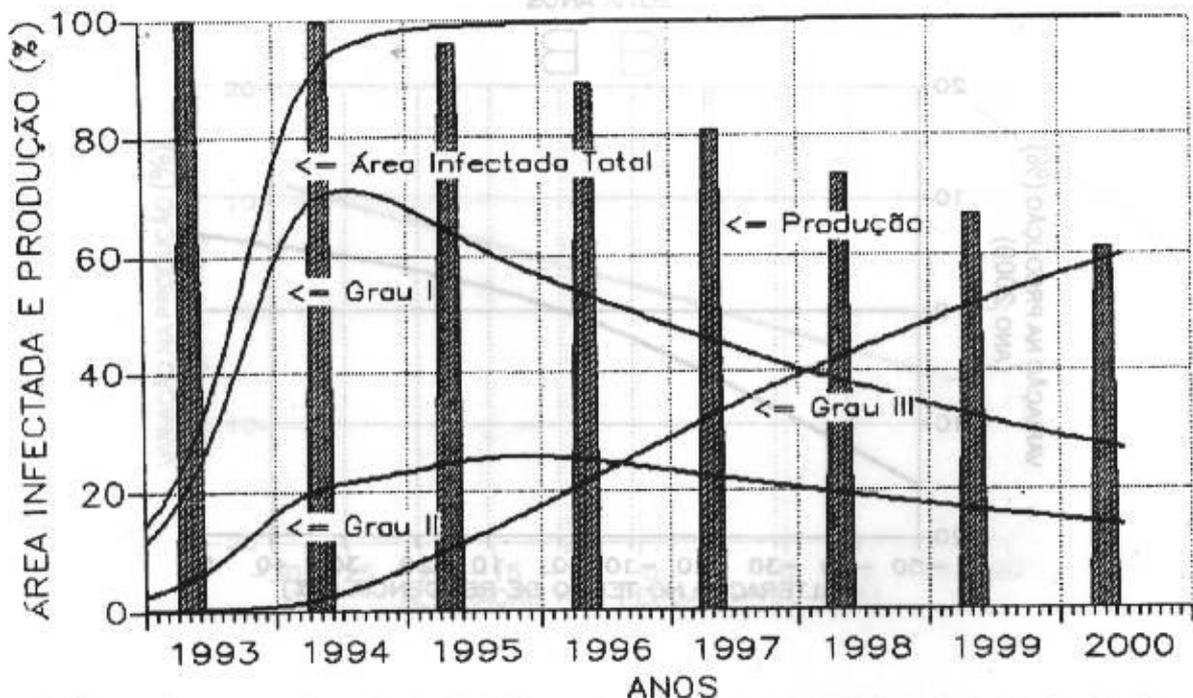


Figura 6 - Progresso das áreas com vassoura-de-bruxa e produção esperada, considerando a manutenção da situação atual (cenário 1).

2. Descoberta de um método eficiente e economicamente viável de controle da doença;

3. Adoção de políticas agrícolas governamentais que permitam a negociação das dívidas dos produtores e acesso ao financiamento barato para controle da doença e recuperação das propriedades.

Nesse caso, será necessária a retomada dos cuidados com as plantações. Nesse cenário, considera-se, portanto, o crescimento de 28% de controle eficiente nas áreas I e II em fins de 1993 para 70% em fins de 1994, permanecendo esse valor constante até o final do século. Adicionalmente, considera-se a recuperação de 50% das áreas de grau III em 1995 e 1996.

Assim, conforme mostra a Figura 8, as áreas de grau I, II e III decrescem de meados de 1994 até fins de 1996, quando retomam o crescimento. A produção permanece praticamente inalterada, a não ser por uma pequena quebra na produção, de menos de 10%, nas safras 94/95 e 95/96. No entanto, é interessante observar que esse nível de controle não é suficiente para manter a doença em equilíbrio. Aparentemente, a área de grau III é a maior responsável pelo crescimento da infecção nas demais áreas visto que o aumento na área infectada total começa a ocorrer justamente quando cessa a

recuperação das áreas de grau III, em fins de 1996.

Conclusões

O modelo apresentado, embora simplificado e não tendo sido estritamente validado, apresenta informações que poderão ser utilizadas como indicadores das tendências da produção de cacau da Bahia em três diferentes cenários.

Se as indicações fornecidas pelo modelo forem corretas, conclui-se que, se não forem tomadas providências imediatas que permitam a um número maior de produtores executar o controle eficiente da doença nas suas propriedades, a produção de cacau na Bahia poderá, no fim da década, atingir somente cerca de 20% de sua produção potencial.

Se o percentual de produtores que vem controlando a doença atualmente permanecer constante nessa década, as perdas, no fim do século, poderiam atingir a 40% da produção potencial.

No entanto, se fosse realizado o controle eficiente da doença em 70% das áreas de graus I e II e fossem recuperados 50% das áreas de grau III em 1995/1996, as perdas seriam insignificantes.

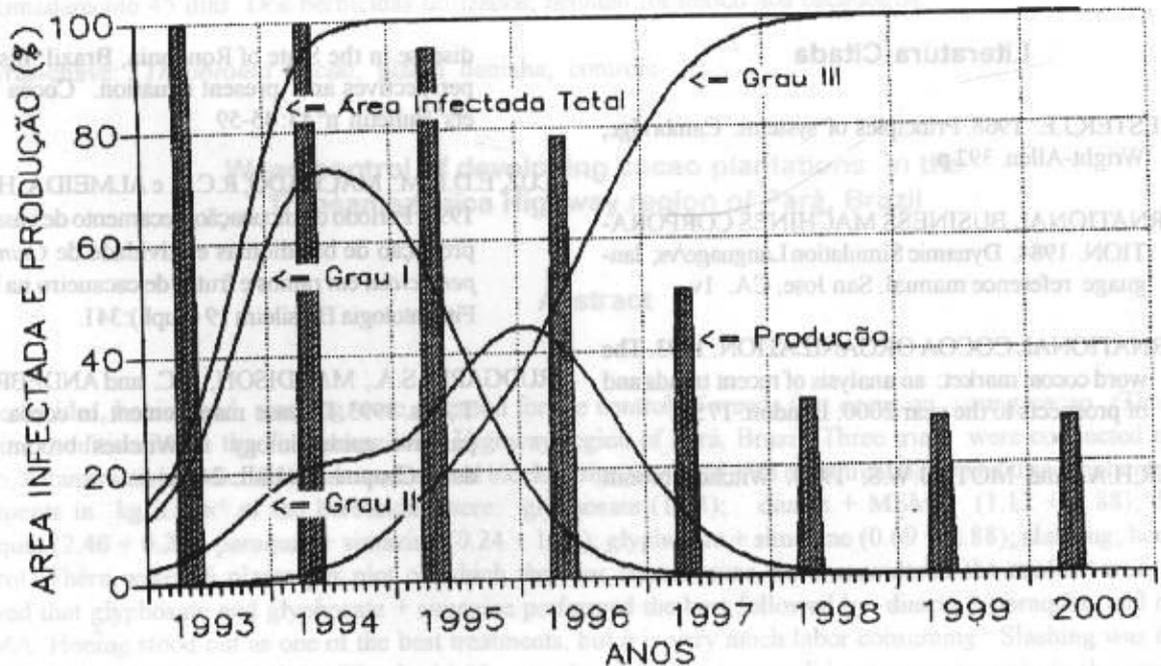


Figura 7 - Progresso das áreas com vassoura-de-bruxa e produção esperada considerando o abandono das propriedades (cenário 2).

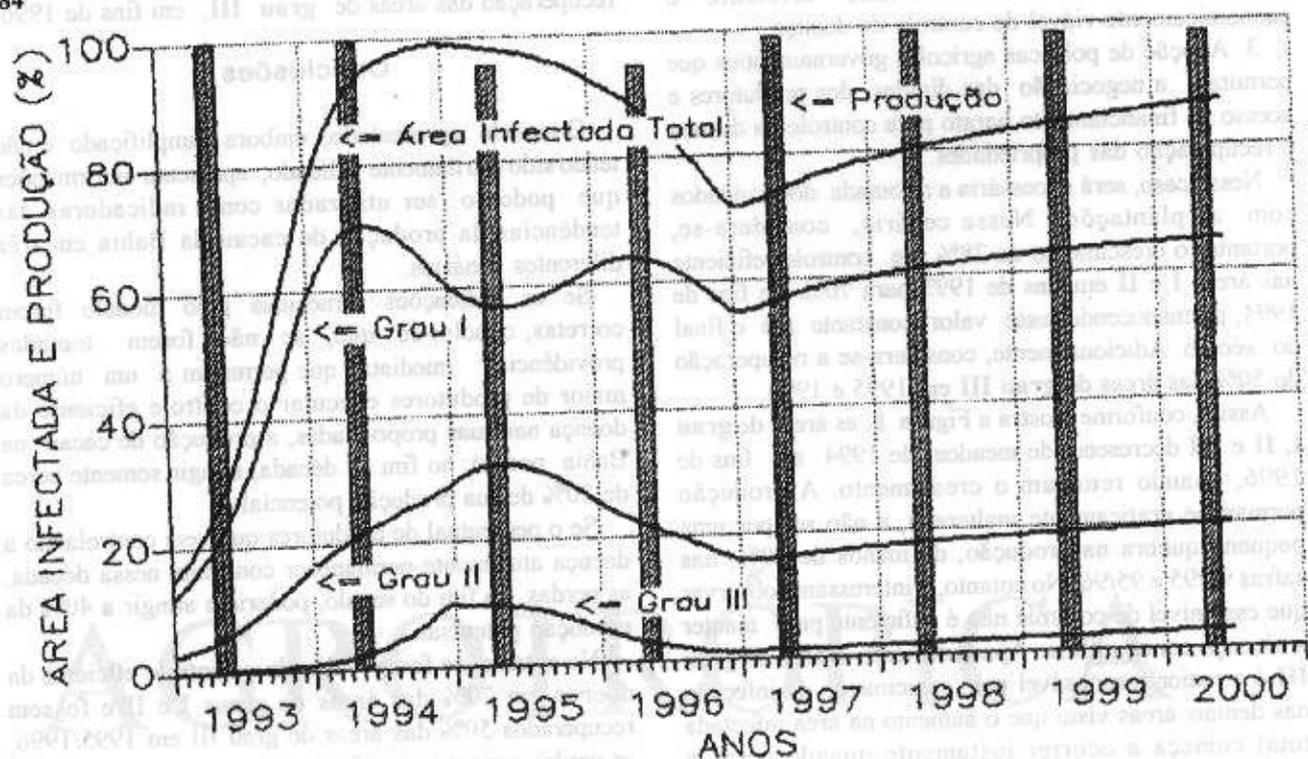


Figura 8 - Evolução das áreas com vassoura-de-bruxa e produção esperada considerando o aumento das áreas controladas (cenário 3).

Literatura Citada

FORRESTER, J.E. 1968. Principles of systems. Cambridge, Wright-Allen. 392 p.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION. 1984. Dynamic Simulation Language/vs; language reference manual. San Jose, CA. 1v.

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. 1993. The word cocoa market: an analysis of recent trends and of prospects to the year 2000. London. 175 p.

LAKER, H.A. and MOTA, J.W.S. 1990. Witches' broom

disease in the State of Rondonia, Brazil: historical perspectives and present situation. Cocoa Growers' Bulletin nº 43: 45-59

LUZ, E.D.N.M., MACHADO, R.C.R. e ALMEIDA, H.A. de. 1994. Período de incubação, secamento de vassouras, produção de basidiomas e atividade de *Crinipellis pernicioso* em ramos e frutos de cacauieiro na Bahia. Fitopatologia Brasileira 19 (Supl.): 341.

RUDGARD, S.A., MADDISON, A.C. and ANDEBRHAN, T., eds. 1993. Disease management in cocoa. Comparative epidemiology of Witches' broom. London, Chapman & Hall. 249 p.