

Simulação da Adoção de Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira Utilizando Modelos de Dinâmica de Sistemas

George Amaro¹
Marcelo Francia Arco-Verde²
Stefano Florissi³

RESUMO: Este artigo apresenta um modelo de simulação para avaliar a adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) em substituição a sistemas de produção não sustentáveis na Amazônia brasileira. O modelo foi construído com a utilização da metodologia de dinâmica de sistemas, tendo sido definidos diferentes cenários para a realização de simulações e análises de sensibilidade. Com base no comportamento do modelo e na dinâmica das alterações pertinentes às éticas de consumo e de produção modeladas pode-se afirmar que, mediante à multifuncionalidade da agricultura e à produção conjunta de *commodities* agrícolas e de serviços ambientais pelos SAFs, aumentos na disposição a pagar, como forma de remuneração pelos serviços ambientais produzidos conjuntamente, podem influenciar a dinâmica da adoção de sistemas agroflorestais e a sua utilização na Amazônia brasileira, indicando que a certificação de origem para produtos agroflorestais pode se configurar em uma alternativa aos esquemas tradicionais de pagamento por serviços ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: dinâmica de sistemas, sistemas agroflorestais, políticas públicas, serviços ambientais.

Simulation of the Adoption of Agroforestry in the Brazilian Amazon Using System Dynamics Models

ABSTRACT: This paper presents a simulation model to evaluate the adoption of agroforestry systems (AFS) to replace non-sustainable production systems in the Brazilian Amazon. The model was built using the system dynamics methodology with different scenarios for the simulations and sensitivity analysis. Based on the model behavior and dynamics of the relevant amendments to the ethics of consumption and production modeled it was observed that, considering the multifunctionality of agriculture and the agroforestry systems joint production of agricultural commodities and environmental services, increases in willingness to pay, as compensation for environmental services produced together, can influence the dynamics of adoption of agroforestry systems and their use in the Brazilian Amazon, stating that the certification of origin for agroforestry products can be configured in an alternative to traditional payment for environmental services .

KEYWORDS: system dynamics, agroforestry systems, public policy, environmental services.

¹M.Sc. Economia, Pesquisador da Embrapa Roraima, E-mail: george@cpafrr.embrapa.br.

²D.Sc. Ciências Florestais, Pesquisador da Embrapa Roraima, E-mail: marcelo@cpafrr.embrapa.br.

³Ph.D. Economia, Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, E-mail: florissi@portoweb.com.br.

1 Introdução

A conversão de florestas primárias em outros usos da terra acelerou-se no século XX devido aos efeitos combinados do aumento populacional e da expansão dos mercados (COLCHESTER; LOHMANN, 1993). O cultivo através de derruba e queima é considerado, ainda, a principal fonte de desmatamentos. Esse tipo de prática, também conhecida como cultivo itinerante ou agricultura migratória, refere-se ao sistema de uso do solo no qual a cobertura vegetal é derrubada e queimada, cultiva-se com espécies alimentícias por dois ou três anos, sendo a área posteriormente abandonada para regeneração (pousio) com vegetação natural por um período de tempo que pode variar de 6 a 15 anos (NAIR, 1987; HUXLEY, 1983).

A lógica de valorização da terra, dentro desse contexto, baseia-se principalmente na conversão das florestas nativas em sistemas de produção agropecuários, impulsionando os agricultores a expandir suas áreas de produção, as quais, com o decorrer do tempo, passam a ampliar os espaços pertinentes às áreas antropizadas por atividades agropecuárias e madeireiras, formando o que se denomina de “áreas alteradas”.

A reação imediata das políticas públicas voltadas à contenção da ampliação do Arco do Desflorestamento se deu, na falta de políticas baseadas na sustentabilidade, através da intervenção direta na situação fundiária, determinando a criação de diversas Áreas Protegidas, compostas por Terras Indígenas e Unidades de Conservação, que correspondem a aproximadamente 44% da Amazônia Legal (PEREIRA et alli, 2010).

Tanto a viabilidade econômica quanto a longevidade produtiva são características importantes para sistemas de uso da terra na Amazônia (FRANKE et alli, 1998; SANTANA; TOURINHO, 1998). Sistemas de produção que possibilitem a manutenção da capacidade produtiva do solo, a diminuição do desmatamento, a incorporação de áreas já alteradas ao processo produtivo e o aumento da renda dos agricultores, fixando-os à terra, são fundamentais para o estabelecimento de cultivos contínuos na Amazônia. Entre as opções mais condizentes com essas premissas estão os sistemas agroflorestais (GAMA, 2003).

A possibilidade de contrabalancear a pressão econômica que força a utilização de sistemas produtivos (SPs) não sustentáveis deve se dar na forma de políticas públicas que permitam modificar a ética ambiental subjacente, tanto de consumo quanto de produção, permitindo o reconhecimento de que há produção de ativos ambientais, de forma não intencional, mas direta, a partir da utilização de sistemas de produção sustentáveis, como os sistemas agroflorestais (SAFs).

Contudo, compreender como mudanças efetuadas a partir da implementação de políticas podem se desenvolver, sob uma ótica multidisciplinar, requer a utilização de uma metodologia que permita captar a dinâmica decorrente dessas mudanças a partir da integração dos diversos elementos que serão por elas afetados e, nesse sentido, modelos de simulação desenvolvidos com uso de dinâmica de sistemas têm sido bastante eficazes e cada vez mais utilizados.

2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho foi criar um modelo de simulação baseado em dinâmica de sistemas que permitisse avaliar a adoção de sistemas agroflorestais, em substituição a sistemas de produção não sustentáveis, na Amazônia brasileira, considerando aumentos na disposição a pagar por produtos agroflorestais.

3 Material e Métodos

Seguiu-se o processo interativo definido por Sterman (2000), tendo sido a hipótese dinâmica estabelecida através de modelos heurísticos que permitissem captar a lógica econômica subjacente à substituição de sistemas de produção não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Utilizou-se o Vensim DSS para o desenvolvimento e análise do modelo, elaborado a partir das bases do modelo de Dudley (2005) para pagamento por serviços ambientais, considerando-se a existência de quatro estoques básicos: Nível de SAFs, Nível de SPs Não Sustentáveis, Status do Ambiente e Serviços Ambientais. O modelo buscou capturar as alterações na lógica de produção, que passa a refletir a ética de consumo, dada a percepção decorrente de externalidades negativas no ambiente e no nível de serviços ambientais.

Análises de sensibilidade foram executadas a partir das simulações, pelo método de Monte Carlo, nativo do Vensim DSS, para repetir várias simulações alterando os valores de parâmetros dos modelos de acordo com a distribuição de probabilidade uniforme aleatória, por uma questão de simplicidade e por ser a mais adequada para a maioria dos testes de sensibilidade, de acordo com Ventana Systems (2007).

Os cenários definidos para as simulações encontram-se apresentados na tabela 1. Dividem-se em possibilidades relativas ao desempenho dos SAFs, buscando identificar efeitos possíveis no excedente do produtor – o que é determinante para a mudança nos sistemas produtivos – e aquelas relativas à substituição de sistemas produtivos não sustentáveis por sistemas agroflorestais. Para cada cenário foram executadas 1.000 simulações, envolvendo todas as possibilidades de combinações das variáveis selecionadas.

Tabela 1. Cenários para simulação da adoção de SAFs em substituição a sistemas de produção não sustentáveis na Amazônia brasileira.

Cenário	Descrição
SAF0	Cenário base: todos os parâmetros para SAFs e para SPs não sustentáveis são iguais, exceto o <i>conhecimento sobre SAFs</i> , que é nulo, e o <i>tempo necessário para mudar para SAFs</i> , que foi fixado, por falta de conhecimento dos produtores, para 4 anos – o dobro do necessário para mudar para SPs não sustentáveis; a efetividade de uma campanha de informação sobre os benefícios ambientais decorrentes do consumo de produtos de SAFs é nula; não há <i>limite de renda à ética de consumo</i> .
SAF1	Cenário da mudança: taxa de juros para SAFs em 4% a.a.; taxa de juros para financiamento de SPs não sustentáveis a 8% a.a.; <i>efetividade da campanha de informação</i> de 70%; <i>fração de SAs¹ a ser recuperada através de penalidades</i> em 90%; <i>limite da renda à ética de consumo</i> de 20%.

¹Serviços Ambientais.

Fonte: os autores.

As premissas básicas assumidas para construção do modelo foram as seguintes:

- a) a disponibilidade de *Serviços Ambientais* é afetada pelo *Status do Ambiente* que, por sua vez, resulta dos fluxos que estabelecem a quantidade de atividades que podem melhorar o ambiente, através do *Nível de SAFs*, ou degradar as condições ambientais, através do *Nível de SPs Não Sustentáveis*;
- b) a *lucratividade de SPs não sustentáveis ajustada* é reduzida pela aplicação de penalidades (multas decorrentes da legislação ambiental) e pela incidência de juros maiores para seu financiamento, explicitando clássicas políticas pigouvianas. Essa redução, ao longo do tempo, reflete-se na diminuição da *taxa de mudança para SPs não sustentáveis*;
- c) a atratividade dos SAFs é reforçada por taxas de juros mais baixas e por um aumento na disposição a pagar dos consumidores, com base na alteração de *ética de consumo* (maior consciência ambiental), dada a percepção da *necessidade de melhoria ambiental*, a qual resulta da diferença entre o *Status do Ambiente* (atual) e o *melhor status possível do ambiente*. Tal atratividade é incorporada pelo aumento da *taxa mudança para SAFs*;
- d) a ética (hábitos) de consumo, refletida na *disposição a pagar por produtos de SAFs*, pode ser alterada pela *efetividade da campanha de informação*, que amplia o nível de informação dos consumidores a respeito do estado atual do ambiente e dos eventuais benefícios da adoção de SAFs pelos produtores, sendo, contudo, contida em parte pelo *limite da renda à ética de consumo*.

A simulação de base, para validar o comportamento inicial do modelo, foi realizada com o cenário SAF0, considerando-se a existência de aproximadamente 365.300 famílias em assentamentos do INCRA nos 43 municípios da Operação Arco Verde (BRASIL, 2009).

Apenas para estabelecer um padrão sobre o qual comparações pudessem ser feitas posteriormente, tomou-se o valor de Nível de SAFs sendo de 300 e de Nível de SPs não Sustentáveis como sendo 365.000 propriedades, como forma de refletir os sistemas de produção predominantemente em vigor.

4 Resultados e Discussão

O modelo desenvolvido, apresentado na figura 1, foi definido considerando-se que o valor da necessidade de melhorias no ambiente pudesse ser transferido para o preço dos produtos, dada a natureza multifuncional da agricultura e a produção conjunta de serviços ambientais, característica inerente aos SAFs. A argumentação subjacente reside no fato de que os produtores buscarão o sistema produtivo que lhes permitir maior rentabilidade e de que os consumidores irão buscar as alternativas de consumo que representam maior utilidade.

Resumidamente, o modelo reflete a seguinte lógica, que pode ser seguida a partir da relações que são expressas graficamente entre seus componentes:

- a) o *Nível de SPs não sustentáveis* é determinado pelo *fluxo de mudança para SPs não sustentáveis*, estabelecido em função do *conhecimento sobre SPs não sustentáveis*, do *tempo necessário para mudar para SPs não sustentáveis*, do *excedente do produtor de SPs não sustentáveis* e do *Nível de SAFs*. Assim, os produtores migram para SPs não sustentáveis se tiverem conhecimento sobre esses sistemas, se o tempo para sua adoção for menor e se obtiverem lucros maiores;
- b) por outro lado, de forma análoga, os produtores passam a adotar SAFs se tiverem conhecimento sobre o sistema de produção, se o tempo para sua adoção for pequeno e se os lucros auferidos forem maiores;
- c) a aplicação de multas por infrações ou crimes ambientais, juntamente com taxas de juros mais elevadas, representam políticas que diminuem a lucratividade dos SPs não sustentáveis;
- d) taxas de juros menores, expressas pela *TJLP para financiamento de SAFs*, aumentam a atratividade dos SAFs para os produtores;
- e) o *Nível de SAFs* interage com *Nível de SPs não sustentáveis* para determinar o *Status do Ambiente*, a partir da influência que cada sistema de produção tem sobre o meio ambiente, expressa pelo *estado máximo por tipo de propriedade* que, por sua vez, é também determinante para o nível máximo possível de serviços ambientais;
- f) o *Status do Ambiente* reflete-se no nível de *Serviços Ambientais*, cuja percepção influencia a aplicação de restrições ambientais (maiores multas e taxas de juros mais altas para SPs não sustentáveis);
- g) o *Status do Ambiente* também resulta na percepção da *necessidade de melhoria ambiental* que implica em mudanças na ética de consumo, limitadas, contudo, pela renda dos consumidores, mas que se refletem na *disposição a pagar por produtos de SAFs*, cujo aumento implica em aumento do *excedente do produtor de SAFs*.

Dessa forma, o modelo permite observar o comportamento da lógica de produção a partir da lógica de consumo, ditada pelos efeitos da produção na qualidade ambiental percebida.

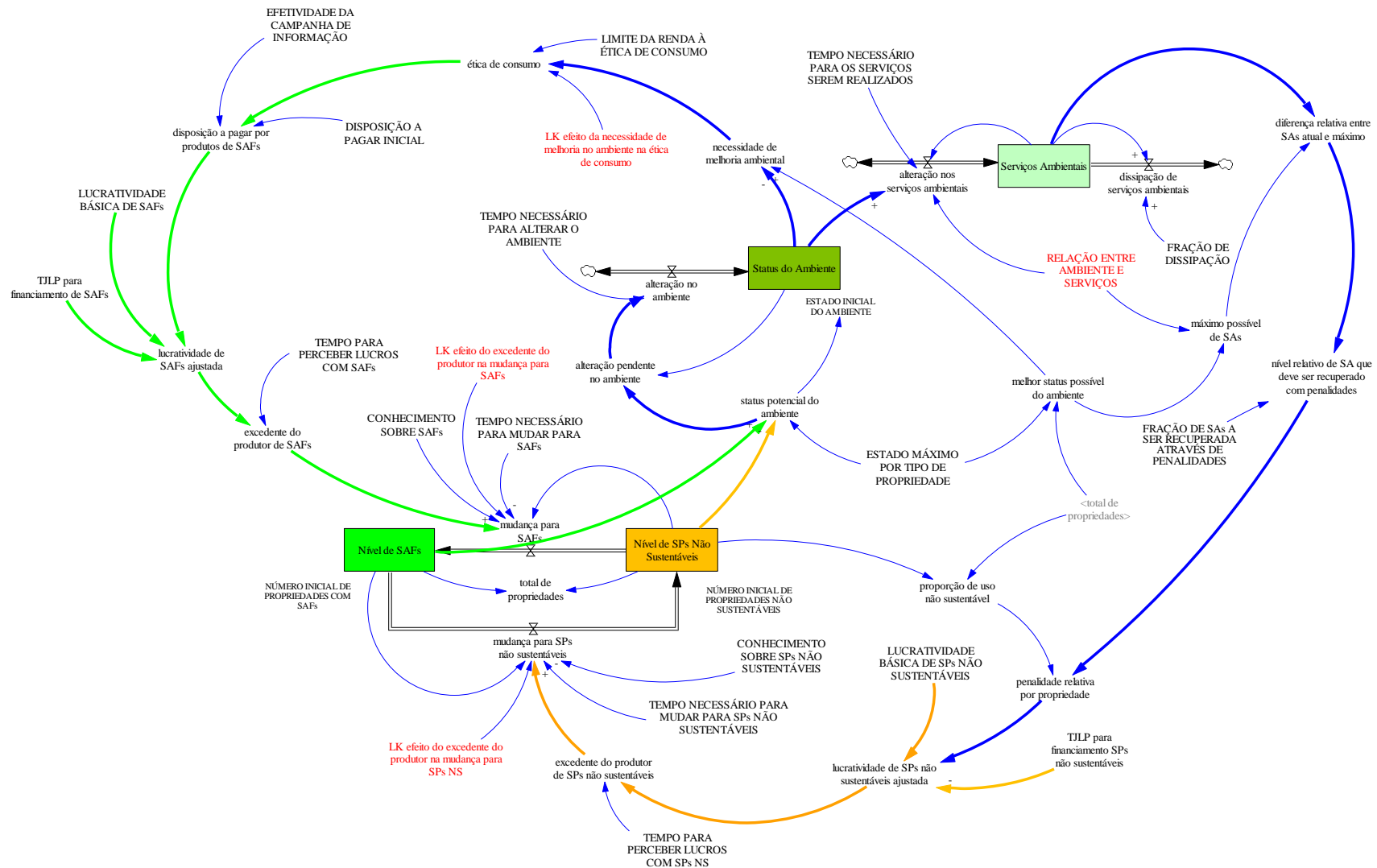


Figura 1. Detalhes do modelo de para simulação dos efeitos da substituição de sistemas de produção não sustentáveis por sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira.

Conforme demonstrado pela figura 2⁴, o modelo apresenta o comportamento esperado no cenário SAF0, pois o Nível de SAFs cai, à medida que os produtores passam a recorrer aos sistemas de produção não sustentáveis, pela falta de conhecimentos, dadas que as condições de mercado são iguais para os dois sistemas e seus produtos. Como resultado, o Status do Ambiente decai e com ele o nível de Serviços Ambientais.

A redução observada no nível de Serviços Ambientais representa uma redução de utilidade, manifestada pelo clássico *trade off* existente entre a produção de alimentos e a manutenção da qualidade ambiental. Essa redução de utilidade resulta em uma redução no bem-estar social, a qual será aceita até que a capacidade de suporte do ambiente esteja próxima de ser atingida, o que geraria uma pressão no sentido de recuperar a qualidade ambiental.

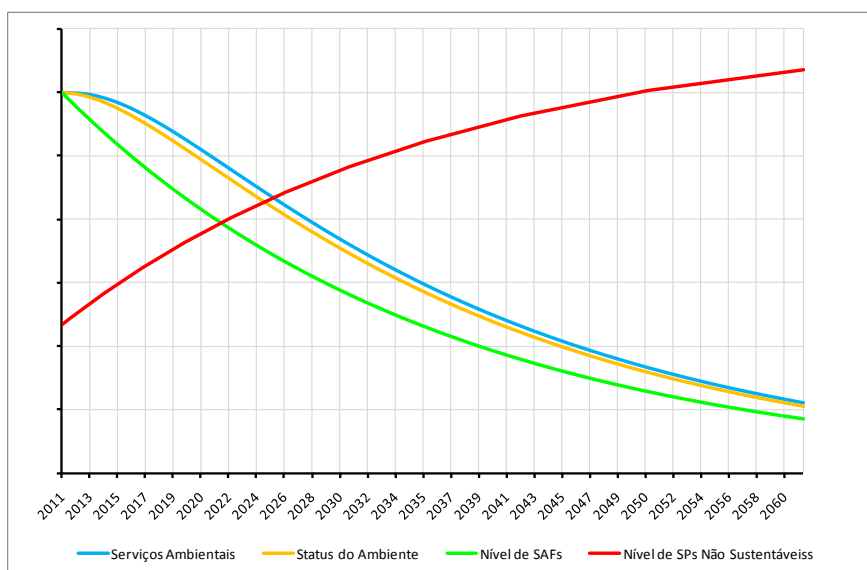


Figura 2. Simulação base, com o cenário SAF0.

O resultado da simulação do cenário SAF1 pode ser observado na figura 3, quando penalidades passam a ser aplicadas, buscando recuperar até 90% dos serviços ambientais perdidos. As taxas de juros para SAFs são fixadas à metade do índice aplicado para SPs não sustentáveis e os hábitos de consumo são alterados através de uma campanha de informação com efetividade de 70%, capaz de, mesmo com uma imposição de 20% de limite para pagamento por produtos sustentáveis, provocar mudanças na disposição a pagar.

No novo cenário, percebe-se claramente que a produção conjunta de alimentos e serviços ambientais representa um aumento na utilidade, resultando em acréscimo de bem-estar social, perante a percepção da multifuncionalidade da agricultura e da internalização das externalidades positivas geradas através do aumento na disposição a pagar.

⁴ As unidades foram omitidas, pois o modelo foi elaborado para mostrar os padrões de comportamento e não as quantidades resultantes.

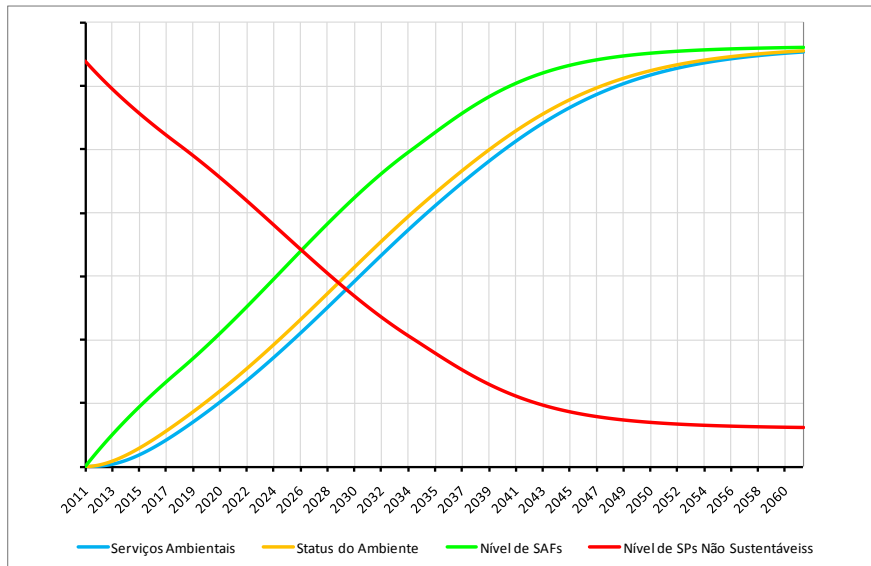


Figura 3. Simulação da substituição de SPs não sustentáveis por SAFs, cenário SAF1.

Na figura 4 observa-se a sensibilidade do Nível de SAFs⁵ à variação no nível de conhecimento sobre SAFs, demonstrando a alta sensibilidade refletida pelo modelo com relação à preparação dos agricultores para utilização de SAFs e o seu efeito na substituição dos sistemas de produção não sustentáveis em uso atualmente. Torna-se aparente o efeito do menor nível de conhecimento que os produtores possuem sobre SAFs no aumento do tempo para sua adoção.

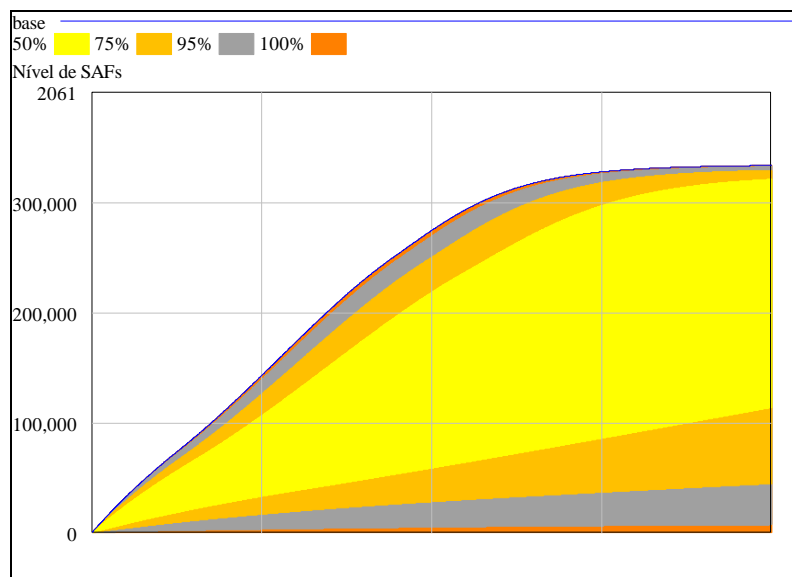


Figura 4. Sensibilidade do Nível de SAFs no cenário SAF1 à variação no conhecimento sobre SAFs de 0 a 0.85

Sendo mantida a variação no conhecimento sobre SAFs e variando-se a efetividade da campanha de informação entre 0 e 1, ainda no cenário SAF1, obtém-se o resultado

⁵ O Nível de SAFs é representado nos gráficos de sensibilidade pelo número de famílias que estão utilizando SAFs como principal sistema de produção em suas propriedades, considerando o período de 50 anos, entre 2011 e 2061.

apresentado pela figura 5(a) no Nível de SAFs. O efeito direto da campanha de informação é apresentado na figura 5(b), que ilustra a distribuição de probabilidade da disposição a pagar por produtos de SAFs.

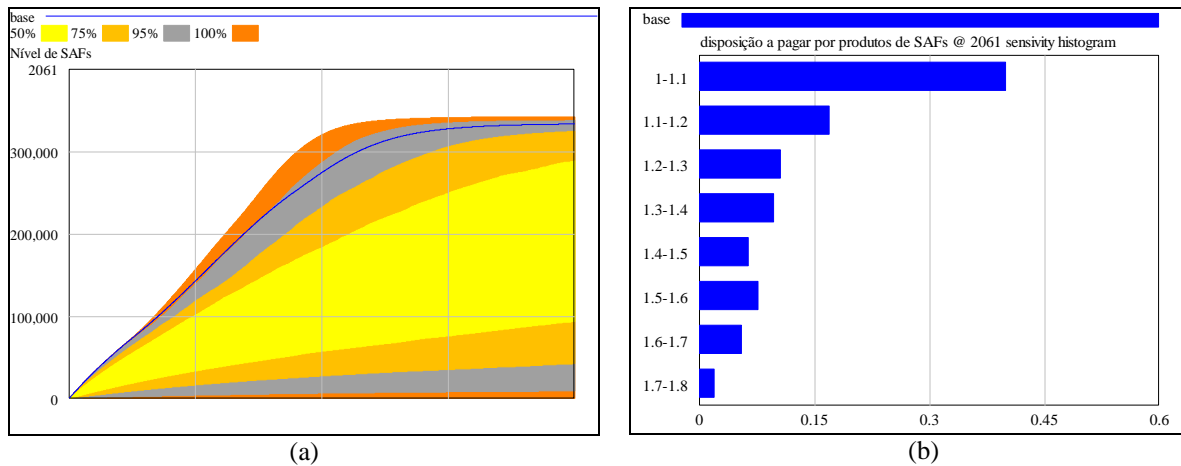


Figura 5. Sensibilidade do Nível de SAFs no cenário SAF1 com *conhecimento sobre SAFs* variando de 0 a 0.85 com *efetividade da campanha de informação* entre 0 a 1 (a); e *probabilidade da disposição a pagar por produtos de SAFs* (b).

Considerando-se o cenário SAF1, com variações nas taxas de juros para SAFs e SPs não sustentáveis entre 1 e 12% ao ano, é obtido o resultado apresentado na figura 6, onde se pode perceber que o resultado da simulação baseada apenas nos parâmetros definidos para o cenário SAF1 situa-se próximo ao limite superior do intervalo de confiança ao nível de 50%.

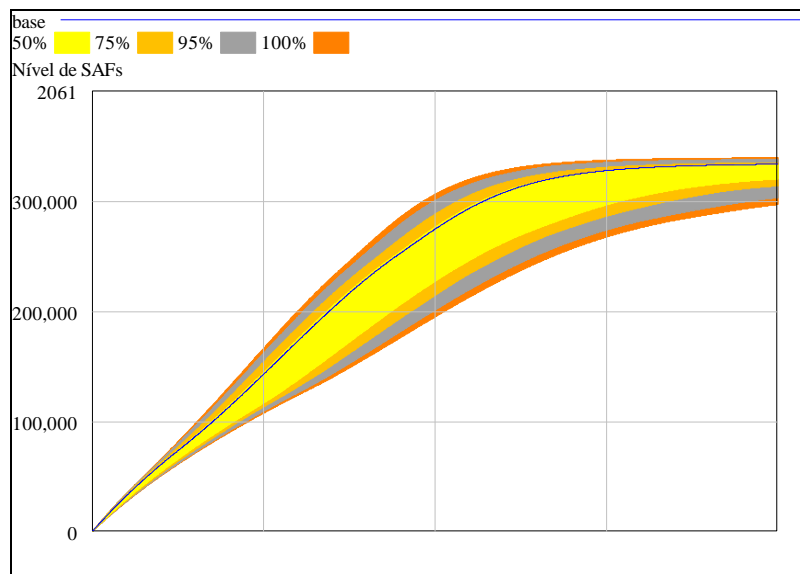


Figura 6. Sensibilidade do Nível de SAFs no cenário SAF1 à *variação na taxa de juros para financiamentos de SAFs e SPs não sustentáveis* entre 1 e 12%.

A figura 7(a) apresenta a sensibilidade do Nível de SAFs em decorrência da alteração dos hábitos de consumo, frente à variação na efetividade da campanha de informação entre 0 e 1 e do limite da renda à ética de consumo, permitindo identificar a importância que as variações no preço de produtos de SAFs têm, de acordo com o modelo, para a adoção desse sistema produtivo pelos agricultores. A probabilidade da disposição a pagar por produtos de SAFs, nas mesmas condições, é apresentada na figura 7(b).

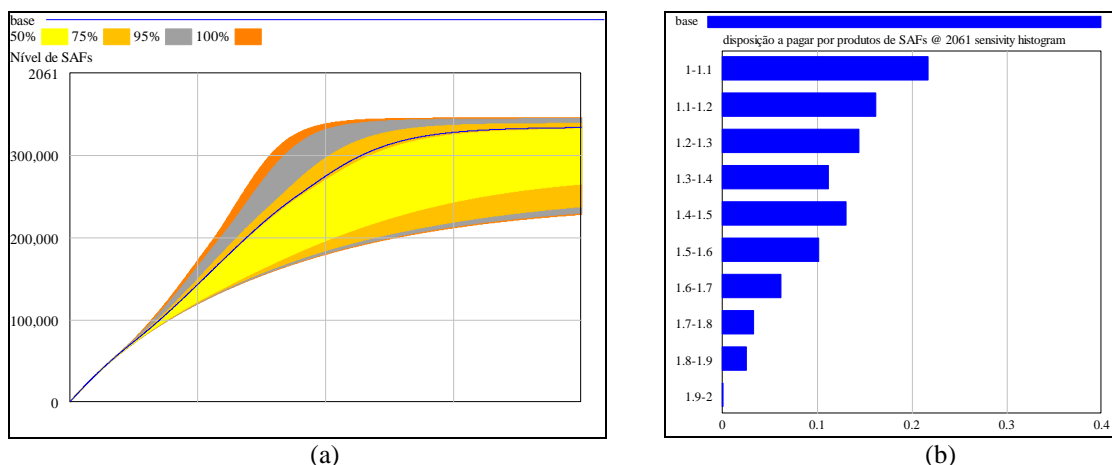


Figura 7. Sensibilidade do Nível de SAFs (a) e probabilidade da disposição a pagar por produtos de SAFs (b) no cenário SAF1, mediante variação na efetividade da campanha de informação entre 0 e 1 e no limite da renda à ética de consumo entre 0 e 0.5.

Através das simulações desenvolvidas nos cenários SAF0 e SAF1 e perante as análises de sensibilidade e probabilidades apresentadas identifica-se, conforme o modelo, aqueles fatores que podem ser impeditivos ou promotores da adoção de sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira, bem como os resultados, em termos de comportamentos possíveis, provocados por alterações nesses fatores.

5 Conclusões e Sugestões

Aumentos na disposição a pagar, como forma de remuneração por serviços ambientais produzidos conjuntamente pelos SAFs, decorrentes da percepção de que produtos agroflorestais têm maior utilidade, podem influenciar a dinâmica da adoção desses sistemas produtivos, diminuindo o tempo para que isso ocorra.

No longo prazo, entretanto, dada a diminuição da percepção das diferenças entre a qualidade ambiental existente e a desejada, diminuiria também a pressão social pela recompensa aos sistemas de produção sustentáveis, o que, eventualmente, poderia levar a um retorno aos sistemas de produção não sustentáveis. Contudo, dado o tempo necessário para a adoção consistente dos SAFs e à solidificação dos conhecimentos sobre esse e outros sistemas produtivos sustentáveis e de uma cultura de consumo consciente, os custos de oportunidade para retorno aos sistemas não sustentáveis poderiam ser demasiadamente altos, impedindo o retorno à situação anterior.

Como a característica econômica fundamental inerente aos SAFs é a produção conjunta, políticas de agregação de valor através da certificação dos produtos como “Origem em SAFs da Amazônia”, aliadas a campanhas de informação dos consumidores, treinamento e educação dos produtores e com a utilização de taxas de juros mais baixas, que possibilitem absorção dos riscos e custos de oportunidade envolvidos na adoção de sistemas sustentáveis de produção, se apresentam como opções ao pagamento por serviços ambientais. Contudo, não deve ser descartada nenhuma opção que possa tornar os SAFs mais atrativos para os agentes produtivos, como um incentivo inicial à sua adoção.

Referências

BRASIL. Presidência da República. **Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: 2ª. Fase (2009-2011)**. Rumo ao Desmatamento Ilegal Zero. Brasília: Casa Civil, 2009.

COLCHESTER, M.; LOHMANN, L. (Ed.). **The Struggle for Land and the Fate of the Forests**. London: Zed Books, 1993.

DUDLEY, R. G. A Generic Look at Payments for Environmental Services: Plan or Scam? In: INTERNATIONAL SYSTEM DYNAMICS CONFERENCE, 23, 2005, Boston, 17-20 jul.

FRANKE, I. L. A.; EUFRANF, L.; AURENYM, P. **Sistemas Florestais no Estado do Acre: problemática geral, perspectivas, estado atual de conhecimento e pesquisa**. Rio Branco: Embrapa CPAF-AC, 1998, 41 p. (Embrapa Acre. Documentos, 38).

GAMA, M. M. B. **Análise Técnica e Econômica de Sistemas Agroflorestais em Machadinho D'Oeste, Rondônia**. 2003. 112 p. Tese (*Doctor Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

HUXLEY, P. A. **Plant Research and Agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. 617 p.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems inventory. **Agroforestry Systems**, v. 5, p. 301-317, 1987.

PEREIRA, J.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: IMAZON, 2010.

SANTANA, A. C.; TOURINHO, M. M. Notas sobre Avaliações Socioeconômicas Agroflorestais na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E ECOLOGIA RURAL, 36., 1998, Poços de Caldas. **Anais...**, Poços de Caldas: Sober, 1996, p. 165-177.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

VENTANA SYSTEMS. Vensim User's Guide. Belmont: Ventana Systems, Inc., 2007.