

## Modelos de Simulação e suas Possíveis Aplicações no Estudo Econômico do Biodiesel





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

ISSN 1517-5111

Dezembro, 2005

## ***Documentos 144***

# **Modelos de Simulação e suas Possíveis Aplicações no Estudo Econômico do Biodiesel**

Daniel Ioshiteru Kinpara

Planaltina, DF  
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*  
*Jaime Arbués Carneiro*

**1ª edição**

1ª impressão (2005): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

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

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.  
Embrapa Cerrados.

---

K55i Kinpara, Daniel Ioshiteru.

Modelos de simulação e suas possíveis aplicações no estudo econômico do biodiesel / Daniel Ioshiteru Kinpara. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2005.

33 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 144)

1. Biodiesel - biocombustível. I. Título. II. Série.

662.88 - CDD 21

---

© Embrapa 2005

# Autor

**Daniel Ioshiteru Kinpara**

Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados

kinpara@cpac.embrapa.br

# Apresentação

A agroenergia é sem dúvida uma evolução da agricultura. É o momento em que ela passa de fonte de alimento barato, saudável, funcional, nutracêutico e seguro para fonte de energia. Numa sociedade moderna como a do século XXI, energia é a base do desenvolvimento produtivo. Não existe desenvolvimento sem trabalho e não existe trabalho sem energia. É a lei mais básica da física mecânica.

A experiência brasileira com o programa de álcool combustível deu ao Brasil uma vantagem competitiva enorme no cenário mundial. A crise do petróleo, aliada às preocupações ambientais de sustentabilidade e alicerçada pelo desenvolvimento técnico agrícola e automotivo, foi fundamental para posicionar o Brasil como um modelo energético viável e concreto.

Com a introdução do biodiesel na matriz energética nacional em 2005, deu-se início a um novo ciclo de pesquisas. Diferente do álcool, que começou sem uma referência técnica, mercadológica, ambiental e política, o biodiesel nasce num meio mais favorável. A despeito disso, o mundo se configura mais complexo do que quando surgiu o programa do álcool combustível. Surgiram novas tecnologias como a célula a combustível, a biotecnologia e as florestas energéticas, exemplos de soluções técnicas alternativas que competem com o biodiesel. Some-se a isso a riqueza de fontes de óleo vegetal, as preocupações com o *tradeoff* entre alimento e energia, a expansão da fronteira agrícola, o mercado de carbono e tantas outras mudanças que tornam o planejamento da produção de biodiesel bastante crítico. Assim, é difícil responder a uma simples pergunta como “Vale à pena investir em biodiesel?”.

Este trabalho aponta a modelagem matemática e a simulação como técnicas que podem apoiar a reflexão sobre a complexa questão do biodiesel. Não como uma “bola de cristal” para prever o futuro, mas como uma ferramenta que procura compreender o comportamento de um sistema complexo, imerso em um ambiente de riscos e incertezas. A partir dessa compreensão, busca-se então soluções viáveis do ponto de vista social, econômico, ambiental e político.

*Roberto Teixeira Alves*

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# Sumário

Introdução .....	9
Simuladores .....	10
Modelos matemáticos e simulação dinâmica .....	10
Aplicação de modelos de simulação em gestão .....	13
Modelos de simulação para sistemas agrônômicos .....	15
Pacotes Computacionais .....	16
Contribuições dos modelos de simulação em biodiesel .....	17
Biodiesel .....	19
A economia do biodiesel .....	19
Política e inovação .....	21
Impactos do biodiesel .....	23
Simulação e economia do biodiesel .....	25
Considerações Finais .....	27
Referências .....	28
Abstract .....	33

# Modelos de Simulação e suas Possíveis Aplicações no Estudo Econômico do Biodiesel

---

Daniel Ioshiteru Kinpara

## Introdução

A pesquisa operacional tem-se firmado no meio científico apoiando a elaboração de teorias, testando hipóteses e estudando complexos sistemas naturais ou artificiais.

Parte dessa capacidade analítica vem de sua origem na ciência matemática. A modelagem matemática é a base de estudos em pesquisa operacional.

Com o advento dos computadores e o incremento na sua capacidade de processamento, houve barateamento no custo da informação. Com isso, modelos matemáticos cada vez mais sofisticados puderam ser construídos, ampliando o uso da pesquisa operacional no estudo de problemas multifatoriais.

O estudo do biodiesel traz consigo a complexidade da matriz energética. Praticamente, todos os aspectos da vida moderna são mediados por diferentes formas de energia. Com a invenção dos motores a combustão, o carro e as máquinas ampliaram a capacidade humana de transformar o ambiente. Mais e mais, o homem tornou-se dependente dos combustíveis fósseis.

A vida moderna trouxe consigo o alerta da finitude dos recursos existentes na Terra. Água, ar, biodiversidade, petróleo são alguns exemplos que definem os limites da intervenção humana. Parte da complexidade do estudo do biodiesel está na multiplicidade de efeitos que ele causa seja ao substituir o petróleo



(e, portanto, diminuindo os efeitos deste bem substituído), seja por meio dos vários produtos agrícolas utilizados na sua obtenção, seja, ainda, nos efeitos da energia gerada por ela.

A capacidade que a pesquisa operacional tem de lidar com problemas complexos, e a multiplicidade de aspectos a se estudar no biodiesel, fazem dela uma ótima ferramenta para a análise dos fenômenos relacionados ao mercado do biodiesel. Especificamente, a técnica da simulação torna-se imprescindível para a tomada de decisão na administração pública, ajudando a desenhar melhores propostas de políticas públicas para o setor.

O presente trabalho pretendeu discorrer sobre a técnica da simulação, apresentar alguns aspectos da complexidade da produção e utilização do biodiesel como combustível, bem como demonstrar quais seriam os estudos econômicos possíveis com o uso da simulação.

## Simuladores

### Modelos matemáticos e simulação dinâmica

Na simulação, o modelo de um sistema é um conjunto de componentes reunido com o propósito de estudar uma parte do mundo real. A escolha dos componentes vai depender dos objetivos do estudo ([JONES; LUYTEN, 1998](#)).

Nos modelos de filas, os componentes do sistema interagem entre si por meio de recursos que fluem de um para outro. Esses recursos são denominados de entidades. ([PERIN FILHO, 1995](#)).

Modelo matemático é “uma representação dos aspectos essenciais de um sistema que apresenta conhecimento desse sistema em uma forma utilizável” (EYKHOFF citado por [GARCIA, 1997](#)).

[France e Thornley \(1984\)](#) tipificaram os modelos como:

- Empírico ou mecanicista: baseado nas relações hierárquicas entre os níveis de abstração. São empíricos quando o modelador observa apenas um nível de hierarquia do problema. Por exemplo, pode estudar uma planta em nível de indivíduo apenas (as espécies que compõe uma floresta), sem se preocupar com o nível celular de cada indivíduo. No modelo mecânico, há a relação entre um nível e um ou mais níveis de abstração inferior.

- Estático ou dinâmico: o modelo estático não possui o tempo como variável. O modelo dinâmico inclui essa variável.
- Determinista ou estocástico: o modelo determinista não leva em conta a probabilidade associada ao comportamento de alguns componentes do sistema, enquanto o estocástico é baseado em probabilidades.

[Perin Filho \(1995\)](#) identifica, ainda, os estados *transientes* (ou de *aquecimento*) e o *estacionário* (ou de *equilíbrio*) de um sistema. O transiente refere-se a um sistema em mudança e o estacionário a um sistema estável. Essa diferenciação é importante para se determinar o momento apropriado para a coleta de dados do sistema.

Em modelos, também é importante a diferenciação entre as variáveis de estado. Elas podem ser discretas ou contínuas, determinando tipos diferentes de modelos, discreto ou contínuo respectivamente. As variáveis discretas tomam valores dentro de um conjunto enumerável; as contínuas, dentro de um conjunto não enumerável. Há igualmente modelos mistos que apresentam variáveis de ambos os tipos. (PERIN FILHO, 1995).

Os modelos discretos podem, inclusive, ser classificados em periódicos ou aperiódicos. No primeiro, os eventos dentro do sistema ocorrem em intervalos regulares, enquanto no segundo, não (PERIN FILHO, 1995).

Segundo [Freitas Filho \(2001\)](#), a construção de um modelo passa por duas fases. A primeira é a do planejamento que inclui a formulação e análise do problema, planejamento do projeto, formulação do modelo conceitual e coleta de macroinformações. A segunda compreende a coleta de dados, a tradução do modelo (codificação do modelo conceitual em linguagem de simulação), verificação e validação do modelo.

Perin Filho (1995) descreve a simulação em cinco etapas, das quais a modelagem é uma delas. A etapa de simulação apenas inclui o ato de criar o modelo e validá-lo. A problematização e a identificação do sistema não estão nessa fase de modelagem.

[Jones e Luyten \(1998\)](#) identificam mais uma etapa que é a de calibração do modelo. Consiste em fazer ajustes nos parâmetros do modelo com o objetivo de utilizá-lo em um caso específico.

[Perin Filho \(1995\)](#) e [Freitas Filho \(2001\)](#) concordam que a simulação inclui mais duas etapas que é a solução do problema por meio da experimentação e a implementação da solução.

Logo, simulação implica, em algum grau, a obtenção de um produto final (na forma de uma ferramenta computacional) e não apenas um estudo prospectivo.

Simulação “é a obtenção da resposta temporal das variáveis de interesse (variáveis dependentes) de um modelo, quando se excita suas variáveis de entrada com sinais desejados e se definem os valores das condições iniciais das variáveis dependentes” ([GARCIA, 1997](#)).

A simulação é normalmente utilizada para a resolução de modelos que incluem a variável tempo a um sistema com dinâmica determinada por seu estado. Em consequência, surgem quatro tipos básicos de variáveis: (1) variáveis de estado; (2) variáveis de taxa; (3) variáveis auxiliares; e (4) variáveis de *direção* (*driving variables*). As variáveis de estado indicam o estado do sistema a um dado tempo  $t$ . As variáveis de taxa definem os processos dentro do sistema a um dado tempo  $t$ . As variáveis auxiliares são aquelas criadas pelo modelador com o intuito de facilitar cálculos intermediários ou gerar indicadores utilizados experimentalmente para fins de comparação. São baseadas nas variáveis de estado ou de entrada, o que lhes confere uma relação dependente com o tempo  $t$ . As variáveis de direção são as de entrada de dados ao sistema e que variam de forma autônoma em relação ao tempo. ([FRANCE; THORNLEY, 1984](#)).

As variáveis de direção são também conhecidas como variáveis exógenas ou funções de determinação (*forcing function*) ([JONES; LUYTEN, 1998](#)).

Além das variáveis, existem os parâmetros e constantes. Enquanto as constantes são valores que não variam ao longo do período escolhido para simulação, os parâmetros são valores assumidos como constante, pois possuem algum grau de incerteza (JONES; LUYTEN, 1998).

Um dos aspectos mais interessantes de simuladores é que uma inter-relação entre variáveis de estado é possível graças aos processos. Os processos determinam modelos que possuem fluxos entre os componentes do sistema e estoques. Assim, pode-se dizer que os simuladores são orientados para processos (JONES; LUYTEN, 1998).

Essa diferenciação é importante para compreender os objetivos de uma programação linear – PL (também uma técnica da PO) e a simulação. Enquanto a PL procura pelo resultado ótimo para um sistema, a simulação foca no comportamento do sistema. É por isso que a simulação torna-se uma estratégia interessante para se entender os processos, interações e o comportamento resultante do sistema, permitindo apoiar sobremaneira a tomada de decisões com base em previsões dos impactos de diferentes intervenções.

## Aplicação de modelos de simulação em gestão

[Berger \(2001\)](#) afirma que os modelos de simulação têm ganhado importância no gerenciamento da agricultura, principalmente, no aspecto de análise de preços e de opções de políticas de comercialização. Segundo o autor, a grande vantagem no uso desses modelos é a sua robustez e a menor demanda por dados agregados, comparados com modelos econométricos. Entretanto, ele aponta dois problemas. Um deles é na captura da interação entre os agentes (medida em termos de custos na troca de produtos e informação entre os agentes) e o outro é na questão espacial (custos de transporte e a imobilidade da terra). A proposta de Berger (2001) é o uso de um modelo espacial multiagente o qual se mostrou bastante eficiente para melhor entender processos de inovação e mudanças no uso de recursos.

[France e Thornley \(1984\)](#) apresentam uma série de experiências com modelos matemáticos aplicados à agricultura e à pesquisa agrícola. No caso de modelos para gestão<sup>1</sup>, explicam que não há diferenças entre esse modelo e um modelo para a pesquisa científica do ponto de vista da técnica de modelagem matemática. A diferença está em como os modelos são utilizados. Nos modelos para gestão, exige-se mais dos seus resultados em termos de capacidade de prever ou informar. Esses modelos devem apresentar menos conjecturas e se basear mais em dados e conhecimento que sejam relativamente consistentes. Nos modelos para pesquisa, a intenção é servir como um meio para se buscar novas soluções, mais fáceis para entender os princípios de funcionamento do sistema, sem se preocupar se o modelo é falho na predição dos resultados reais.

---

<sup>1</sup> No texto, a palavra utilizada é *management* que corresponderia a *gerenciamento*. No entanto, a tradução que melhor se encaixa no contexto do texto é como uma função da administração denominada de *direção*, encarregada da tomada de decisão dentro das organizações.

Apesar de não haver diferenças na técnica de modelagem matemática, os simuladores para gestão precisam contar com outras características para tornar-se ferramentas úteis.

[Hodges et al. \(1998\)](#) descreveram o uso de simulador em gerenciamento da cultura de algodão. Utilizaram um pacote de simulação denominado GOSSYM e um sistema especialista denominado COMAX. Essa combinação foi necessária para contornar dois problemas com o GOSSYM: (1) Esse simulador não possui interface amigável para uso pelo produtor; (2) exige do usuário conhecimento técnico para construção de conjuntos de parâmetros (cenários) de cada iteração que serão necessários para a tomada de decisão.

Isso denota um primeiro problema com simuladores. Como torná-los acessíveis para uso pelos tomadores de decisão (políticos, empresários, sociedade civil etc.) e não só por cientistas. [Bradshaw e Borchers \(2000\)](#) apontam essa dicotomia entre o tomador de decisão e o cientista como a causa para a dificuldade em transformar conhecimento científico em políticas públicas. Segundo os autores, o problema está na incerteza científica. Enquanto o cientista tem facilidade em lidar com a incerteza e a complexidade, os políticos e o público buscam constantemente por certezas e soluções deterministas.

A tomada de decisão envolve, abstratamente, duas possibilidades: manter o que se faz ou mudar o que se faz. Esse resultado é obtido de forma complexa a partir de uma cadeia de fatores que vai da percepção do problema, obtenção de informação, conhecimento (e experiência) necessário ou acumulado para resolvê-lo, o risco envolvido, os benefícios, as recompensas e a ação ([BARRETT; NEARING, 1998](#)). Essa complexidade é que justifica o uso de uma ferramenta como a simulação para apoio à tomada de decisão.

Um aspecto importante levantado por Barrett e Nearing (1998) é o papel complementar de ferramentas de tomada de decisão em relação a sistemas de informação. Um fato importante nesse processo é que nem sempre aquele que toma a decisão é quem tem o problema. Essa dicotomia explica a dificuldade de conciliar a perspectiva científica que um cientista tem do problema e a perspectiva orientada à aplicação de um tomador de decisão. Enquanto o cientista pensa em termos de probabilidades, o gerente olha as possibilidades ([BARRETT; NEARING, 1998](#)).

Outra forma de utilizar o simulador é como uma ferramenta para criar diversas estratégias (conjunto de decisões) e apresentá-las ao tomador de decisão. Assim, a ferramenta continuaria nas mãos do cientista cabendo a ele apenas traduzir o resultado ao tomador de decisão. Não se adaptaria a ferramenta ao tomador de decisão.

[Omman \(2000\)](#) apresentou uma experiência nesse sentido. Ela descreveu uma metodologia para integrar cientistas e tomadores de decisão para a construção de uma política ambiental na Alemanha, utilizando o método de análise de decisão multicritério (MCDA). Essa experiência é importante para distinguir entre o apoio que a simulação fornece como modelo matemático e a necessidade de integrar especialidades cujos resultados não são expressos em dimensões equivalentes ou que são qualitativas.

Assim, a simulação não é um método que deve ser utilizado sozinho na elaboração de políticas públicas, mas que outros métodos, como o MCDA, devem ser pensados. Também alerta para a necessidade de se integrar um sistema simulador (gestão) a um sistema de informação (bases de dados).

## **Modelos de simulação para sistemas agrônômicos**

Do ponto de vista conceitual, existe conhecimento sobre as técnicas de modelagem, tanto para otimização quanto para simulação, aplicado a problemas de ordem agrônômica e a fenômenos biológicos em geral. Os conhecimentos sobre as tecnologias de produção de óleo vegetal, transformação deste em biodiesel e seu uso estão relativamente bem estudados e esclarecidos. Já existem modelos deterministas para descrição desse tipo de processo produtivo e tecnológico ([FRANCE; THORNLEY, 1984](#); [JONES; LUYTEN, 1998](#); [LECLER, 1998](#); [BOOTE et al., 1998](#)).

Apesar de constar na literatura alguns trabalhos utilizando a simulação e a dinâmica de sistemas como ferramentas de gerenciamento das culturas e da fazenda ([HODGES et al., 1998](#); [WOODWARD, 1998](#); [LAL, 1998](#)), são ainda poucas a aplicação das ferramentas de modelagem para a integração de conhecimentos no estudo de cadeias produtivas. Menos ainda como ferramenta de tomada de decisão nesse contexto. A principal razão alegada é que o uso de modelagem em problemas que envolvem altos níveis de incerteza em relação aos parâmetros gera modelos complexos e pouco úteis como ferramenta gerencial.

O caso do biodiesel adiciona ao problema de modelagem a complexidade da matriz energética cujos benefícios não se restringem a questões econômicas de produção de riquezas e sua distribuição, mas de impactos sociais e ambientais (no caso das hidrelétricas principalmente) profundos. A matriz energética é de abrangência nacional, e as decisões tomadas nesse setor são sempre de longo prazo, dada a característica dos altos investimentos.

Assim, uma ferramenta que seja capaz de fornecer meios para o estudo do comportamento desse grande mercado e capaz de modelar aspectos econômicos, sociais e ambientais é fundamental para compreender o setor e fornecer respostas sobre a viabilidade dos investimentos e dos seus impactos sociais e ambientais.

## Pacotes Computacionais

Dada a finalidade de ferramenta de tomada de decisão, é cada vez mais clara a existência de dois problemas em simulação: (1) é preciso ser um especialista para poder compor os cenários; (2) é preciso ser um especialista para poder analisar os resultados das simulações.

Assim, vários são os pacotes que incluem algumas facilidades de construção de interfaces mais amigáveis ou de apresentação gráfica dos resultados.

O próprio processo de simulação compreende o uso de linguagens e ferramentas de programação em computadores.

São exemplos o CROPGRO, um simulador de crescimento de culturas agrícolas ([BOOTE et al., 1998](#)); o ArcInfo conjuntamente com o SENMAP para a geração de mapas dos resultados de modelos espaço-temporais ([PANESAR, 1998](#)); o ambiente ARENA, desenvolvido a partir do SIMAN, com o *add-in OptQuest* ([FREITAS FILHO, 2001](#)), conferindo a capacidade de otimização ao simulador e o FARMSYS para planejamento de fazenda com simulador orientado a objeto ([LAL, 1998](#)).

Outros sistemas em ambiente gráfico podem ser citados como o PowerSim<sup>®</sup>, da Powersim Corporation, e o Vensim<sup>®</sup>, da Ventana Systems.

Também foram criadas linguagens orientadas a objeto para a construção de simulações. Uma das primeiras implementações foi o Simula, desenvolvido no começo da década de 1960 ([FRANTA, 1978](#)). Depois, sucederam-se outras como a DEMOS (BIRTHWISTLE citado por [BOLTE, 1998](#)), a MODSIM II (BERLANGER et al. citado por BOLTE, 1998), a CropSyst, específica para modelam de sistemas de culturas agrícolas (EVERT; CAMPELL citado por BOLTE, 1998) e a CropSim (CANPOLAT; BOLTE citado por BOLTE, 1998). Outros pacotes existentes no mercado e que são utilizados em pesquisa científica são o ACSL Xtreme® ([AEGIS TECHNOLOGIES, 2005](#)) da AEGIS Technologies, e o Simulink® ([MATHWORKS, 2005](#)), da The Mathworks, construído sobre a plataforma do Matlab.

Como se pode observar, existe grande quantidade de pacotes disponíveis no mercado.

## **Contribuições dos modelos de simulação em biodiesel**

O estudo da economia do biodiesel por meio de modelos de simulação pode auxiliar:

- O planejamento estratégico do governo ao orientar a elaboração de programas públicos para o setor de agroenergia.
- A determinar os critérios utilizados na avaliação de projetos para a certificação como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).
- A maneira de escolher as espécies para produção de óleo vegetal para fim combustível que serão submetidas à pesquisa agrícola.
- A visão sobre os simuladores no estudo de problemas que envolvem questões socioeconômicas e parâmetros técnicos em ambientes turbulentos (de alta incerteza).
- A compor o *portfolio* de fontes limpas de energia, ao estudar espécies nativas com potencial para uso produtivo.
- A compor a pauta de importação e exportação do país.
- A determinar os centros de desenvolvimento, ao incluir áreas até então alijadas do processo econômico por falta de energia.



- Os planos de investimentos da iniciativa privada, voltando-se a áreas onde a vantagem comparativa e competitiva seja melhor (mão-de-obra mais barata, disponibilidade de espécies oleaginosas com potencial produtivo).

Os modelos podem ser submetidos a diferentes cenários, com diferentes combinações de externalidades e de condições de risco e incerteza. Os resultados das simulações, contendo variações de estado do sistema ao longo do tempo, isto é, sua dinâmica (representada pela iteração de cada um dos modelos), oferecem explicações sobre as relações de causa e efeito dos fenômenos emergentes do sistema. Esses mesmos resultados podem ser utilizados para gerar indicadores técnicos e empregados na gestão do negócio agrícola.

Um modelo de simulação permite avaliar de maneira contínua o potencial de uso dos recursos naturais de um bioma. Amplia as alternativas de produção agrícola ao avaliar as várias opções de oleaginosas disponíveis, nativas ou não. A escolha de alternativas mais viáveis do ponto de vista técnico, econômico e ambiental pode promover o desenvolvimento local e regional em bases sustentáveis e, assim, contribuir positivamente nas questões sociais.

É também uma fonte rica de dados ao organizar em um sistema o conjunto de conhecimentos de produção agrícola (técnicos) e dos mercados (econômicos). A necessidade de parâmetros para os vários modelos incentiva a cooperação multidisciplinar de organizações e instituições de pesquisa.

O modelo de simulação pode ajudar na formulação de políticas públicas para o setor agrícola, bem como nortear os trabalhos de C&T ao indicar quais produções são mais viáveis e quais as condições para o seu desenvolvimento, direcionando os investimentos públicos, ampliando as chances de maiores retornos, não só no aspecto econômico, mas também social e político.

O modelo de simulação permitirá estudar várias espécies nativas brasileiras, servindo como uma forma de caracterização técnica dessas espécies para fim produtivo sustentável. A modelagem de questões ambientais, como o seqüestro de carbono, permitirá a criação de indicadores de acompanhamento ambiental, ajudando no monitoramento dos recursos naturais, bem como na definição de políticas públicas de proteção ambiental. O modelo ajudará a quantificar diversos impactos (econômicos, sociais, ambientais) ampliando bastante a discussão em torno da questão de pressão antrópica sobre os biomas.

## Biodiesel

### A economia do biodiesel

Do ponto de vista nacional, as maiores regiões consumidoras de óleo diesel, em 2003, foram a Sudeste e a Sul, com 16.256 mil m<sup>3</sup> e 7.759 mil m<sup>3</sup> respectivamente ([AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005](#)). Os três maiores estados consumidores foram São Paulo, Minas Gerais e Paraná, com 8.965, 4.413 e 3.450 mil m<sup>3</sup> respectivamente.

Um dado que chama a atenção é o crescimento no consumo da Região Norte. No biênio 2002/03, ela foi de 1,28%. Todas as demais regiões, à exceção da Região Sul (com crescimento, mas de apenas 0,12%), tiveram decréscimo no consumo. O maior crescimento foi observado no Estado do Amapá, com 14,46%, quase cinco vezes maior do que o de Mato Grosso, o segundo maior crescimento observado. ([AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005](#)).

Acredita-se que o grande consumo de diesel em Mato Grosso esteja relacionado com a questão agropecuária. Esse estado foi o maior comprador de colheitadeiras em 2004, com 1.346 unidades, contra 1.216 no Paraná ([ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2005](#)).

No caso do Amapá, o consumo de diesel pode estar relacionado à extração mineral, principalmente do manganês. A maior jazida brasileira está nesse estado. Em 1994, Brasil detinha 2,5% das reservas mundiais e participou com 16% da produção mundial. Em 2003, era a quarta maior reserva mundial desse mineral e se encontrava como o segundo maior produtor mundial ([COSTA; FIGUEIREDO, 2004](#)). O Amapá foi um dos maiores produtores mundiais desse minério no século 20. Esse mineral é um dos principais insumos na produção de ferro fundido, ferro-gusa, aço e outras ligas metálicas de importância econômica. O manganês é volumoso e pesado, o que torna seu transporte, tanto marítimo quanto terrestre, caro, constituindo o item de maior peso na composição do seu custo de produção ([DRUMMOND, 2004](#)).

A imagem que se faz do biodiesel para o grande público é como um substituto do diesel. Entretanto, a aplicação do biodiesel não se circunscreve como uma fonte renovável de energia automotiva, mas também como geração de energia elétrica por meio de geradores estacionários.

Dados de 2005 indicam que o Brasil possui 1.422 empreendimentos em operação gerando 91,9 milhões de kW de potência. Desse total, 4,1% provém de 464 usinas movidas a óleo diesel ([AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005](#)), representando 33% do total de empreendimentos. Nota-se a importância que o diesel tem como fonte de energia não é tanto pela potência gerada, mas pela sua capilaridade dentro do território nacional.

Segundo a [Eletrobrás \(2005\)](#), essas usinas fazem parte do chamado “Sistemas Isolados Brasileiros”, dispersos principalmente na Região Norte que compreende 45% do território nacional. Em 2003, essas usinas atenderam a 1,2 milhão de consumidores e consumiram 691,6 mil m<sup>3</sup> de diesel. Todavia, o consumo já chegou a 1.301 mil m<sup>3</sup>, em 1999.

Assim, o biodiesel tem duas abrangências bastante claras. De um lado, nos grandes centros urbanos e regiões vizinhas, atendendo a questões de transporte. Por outro, em regiões isoladas, como uma forma rápida e relativamente barata de expansão da disponibilidade de energia elétrica às comunidades.

Segundo previsão da Petrobrás, o Brasil tornar-se-á, auto-suficiente na produção de petróleo em 2006 ([PETROBRÁS, 2005](#)). Em 2003, o País importava 3,3% do petróleo consumido ([AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005](#)). Para o mesmo ano, em termos de óleo diesel, foram produzidas 34.511 mil m<sup>3</sup>, um aumento de 3,57% em relação ao ano anterior (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005). Ele importou cerca de 3.818 mil m<sup>3</sup> e exportou 122 mil m<sup>3</sup> (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005). Em 10 anos, as vendas de óleo diesel incrementaram em aproximadamente 10.000 mil m<sup>3</sup>, cerca de 37%.

Admitindo o índice de emissão para o petrodiesel de 13,6 g/L de hidrocarbonetos (HC), 55,7 g/L de monóxido de carbono (CO) e 72,8 g/L de óxidos de nitrogênio (NOx) ([PARÂMETROS... 2001](#)), estima-se que a produção de poluentes em 2003 para o Brasil tenha sido de cerca de 500,5 mil toneladas de HC, 2.049,8 mil toneladas de CO e 2.679,0 mil toneladas de NOx.

O petrodiesel ainda tem o problema de emissão de óxidos de enxofre e material particulado. Os compostos de enxofre emitidos são uma das principais causas das chuvas ácidas. O teor de enxofre presente no petrodiesel é de cerca de 2 mil ppm. Assim, para o consumo de diesel de 2003, foram lançadas no ar cerca de 627 toneladas de enxofre (supondo 829 g de diesel em cada litro de produto). Para

se estimar a quantidade de material particulado, é preciso estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida. Admite-se que exista uma proporção de produção de CO e CO<sub>2</sub> de 1:48. Assim, para 2 milhões de toneladas de CO, calcula-se uma produção de cerca de 96 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Quanto ao material particulado, admite-se que a relação seja de 0,1% da massa de CO<sub>2</sub> produzida. Logo, para 96 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, tem-se 960 mil toneladas de material particulado lançado no ar.

Em um simples cálculo, pode-se estimar o mercado envolvido no biodiesel. Admitindo-se o uso de biodiesel B2 (2% adicionado ao petrodiesel), tem-se cerca de 736,1 milhões de litros substituídos. Em 2003, o preço médio nacional do litro de diesel na bomba foi de R\$ 1,452 ([AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005](#)). Logo, o biodiesel substituído representaria, grosso modo, cerca de R\$ 1,1 bilhão. Esse seria o montante destinado à produção agrícola, transformação, distribuição e impostos pagos na produção do biodiesel.

Os preços do diesel passaram de R\$ 0,876, em 2001, para R\$ 1,452 em 2003. Um aumento de 66% em apenas três anos. Se mantida essa taxa de crescimento, pode-se esperar em curto espaço de tempo um impacto ainda maior do biodiesel na economia brasileira. Os preços aqui apresentados são médios. Em regiões distantes dos centros produtores, como a Região Norte, a média de preços do diesel é 6,1% mais alta do que a média Nacional, segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (2005). Essa diferença representa R\$ 65,2 milhões e demonstra o potencial que o biodiesel tem de tornar-se ainda mais viável em tais áreas, conferindo-lhe grande importância como estratégia de desenvolvimento.

Com o uso do biodiesel B5 (adição de 5% de biodiesel no petrodiesel), teremos uma economia de 1,8 bilhão de litros substituídos, cerca de R\$ 2,7 bilhões.

## **Política e inovação**

A política definida para o petrodiesel enfatizou seu uso para fins de transporte de cargas. Assim, utilitários, caminhões, trens e navios usam invariavelmente motores de ciclo Diesel. O impacto do biodiesel sobre o “custo Brasil” é evidente.

O momento atual é chave para o estudo de uma política para o setor energético. Há um risco de “apagão” caso investimentos na área não sejam feitos; há uma

estimativa de exaustão dos estoques mundiais de petróleo em pouco mais de 50 anos. Entrou em vigor o protocolo de Quioto e, para os seus signatários, há uma legislação de uso do biodiesel B2 já em vigor. Existe a inovação tecnológica dos motores “flex” de ciclo Otto, que demonstra a receptividade do público a alternativas energéticas para o setor, e o setor produtivo industrial e agrícola está tecnologicamente preparado para investimentos nessa área.

Fomentar o uso do biodiesel não depende apenas da gestão de investimentos. Aliás, investimento não é o único fator determinante do sucesso ou do insucesso de uma inovação (aqui entendida como tecnologia com utilidade econômica).

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool) é um exemplo. Apesar do enorme investimento feito pelo governo federal para estimular esse programa, ainda assim houve problemas na sua implantação, chegando a ponto de quase ter sido abandonado como solução energética.

[Rosillo-Calle e Cortez \(1998\)](#) apontam uma combinação de três fatores para a crise do Proálcool: (1) falta de uma política energética clara; (2) altos preços do açúcar no mercado internacional; e (3) baixo investimento na produção de etanol em função da baixa nos preços internacionais do petróleo.

A falta de uma política energética é clara quando se analisam as conseqüências da extinção do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) em 1990. [Lima e Sicsú \(2001\)](#) concluíram que essa foi uma das principais razões que explica a falta de dinamismo observada na cultura da cana-de-açúcar do Norte/Nordeste quando comparada com a do Centro/Sul.

Enquanto o Norte e Nordeste não criaram mecanismos para substituir o IAA, no caso paulista, segundo [Ramos \(1999\)](#), a falta de dados e de informação sobre o setor sucroalcooleiro foi suprida por outros órgãos como o Instituto de Economia Agrícola (IEA), a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação Seade), a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (Única), a União da Destilarias do Oeste Paulista (Udop) e a Organização dos Plantadores de Cana (Orplana).

A extinção do IAA revelou que dados e informação tiveram importante papel para diferenciar o modelo de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar do

Norte e Nordeste do paulista, mesmo que ambos tivessem sido fruto do mesmo programa governamental de investimentos.

A experiência do álcool combustível demonstrou, igualmente, a importância de se preocupar não só com o produto tecnológico, mas também com o seu processo de produção. Um trabalho de [Arbex \(2001\)](#) mostrou o efeito deletério às pessoas expostas à queima da palhada de cana-de-açúcar para a colheita na cidade de Araraquara (SP).

[Mattos \(2001\)](#) afirma que a diminuição de emissões de gases de efeito estufa (GEE) só será possível quando a tecnologia estiver aliada a outras medidas e políticas voltadas para essa finalidade. A tecnologia, sozinha, não é capaz de fazer isso.

Infere-se desse problema, que a questão ambiental não se restringe à menor emissão de poluentes pela queima do produto final, mas que seu processo de produção também tem impactos significativos. Fica a lição para a inovação do biodiesel. É importante analisar não só o produto, mas também seu processo produtivo.

## **Impactos do biodiesel**

O biodiesel tem três grandes impactos para a sociedade: (1) pode substituir, no curto prazo, parcialmente o petrodiesel para uso automotivo; (2) pode viabilizar a produção de energia elétrica em áreas não cobertas pela rede interligada; e, (3) na agricultura, pode gerar mais renda no campo. Em todas as situações, os impactos socioeconômicos são evidentes.

Ao se propor a substituição do petrodiesel, tem-se menor importação de diesel e de petróleo, criam-se novos empregos nas lavouras de oleaginosas, torna o preço do combustível mais imune às variações do dólar e ao valor do barril de petróleo no mercado externo, torna menos incerto o custo de transporte rodoviário, ferroviário, fluvial e marítimo, permite participar do mercado de crédito de carbono nas produções certificadas como MDL e apóia o desenvolvimento em áreas sem infra-estrutura de energia por causa da utilização de motores de ciclo diesel convencionais, facilmente encontrados e com tecnologia dominada. O uso do biodiesel pode popularizar os motores diesel para veículos leves (ainda não possível por força de lei), o que, junto com o etanol, diminuiria o consumo de gasolina e diversificaria a produção agrícola, saindo da

monocultura, facilitando o manejo de pragas, desenvolvendo fim produtivo para espécies nativas locais e tornando possível a adoção dessa inovação no curto prazo (não há necessidade de adaptar espécies de outras áreas para cada região do País).

Dada a essa intrincada rede de benefícios, o próprio governo federal, por meio de um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), instituído por decreto presidencial em 2 de julho de 2003, já vinha estudando as bases do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Em 6 de dezembro de 2004, foi oficialmente lançado o PNPB e o Marco Regulatório. ([PROGRAMA..., 2005](#)).

Em 16 de janeiro de 2004, o Ministério de Minas e Energia lançou o Pólo de Biocombustíveis Brasil, na cidade de Piracicaba – SP ([AGÊNCIA BRASIL, 2004](#)).

Em 13 de janeiro de 2005, foi publicada a Lei 11.097 introduzindo definitivamente o biodiesel na Matriz Energética Brasileira. Em 20 de abril de 2005, foi publicado Decreto Federal autorizando a adição de até 2% de biodiesel (o *blend* entre petrodiesel e biodiesel é denominado de Biodiesel B2) no petrodiesel. A partir de 2008, a adição tornar-se-á obrigatória. ([AGÊNCIA CT, 2005](#)).

São vários os segmentos interessados no biodiesel. A energia é a base de muitas atividades produtivas, de maneira que os efeitos serão sentidos em, praticamente, todos os segmentos direta ou indiretamente. De forma mais pontual, citam-se como interessados os produtores rurais, o setor automotivo, o setor elétrico, os cidadãos em áreas isoladas não servidas pela rede elétrica interligada e o setor de transportes.

Outros impactos podem ser observados não só pelo produto biodiesel colocado no mercado, mas na maneira que processo produtivo do biodiesel afeta outras cadeias.

Uma delas é a relação entre as cadeias do biodiesel e do álcool seja o preço do álcool afetando o custo de produção do biodiesel, seja o biodiesel pressionando a demanda de álcool. Isso acontece por que a forma mais comum de obter biodiesel é a da transesterificação de triglicerídeos de óleos vegetais. Para essa reação química, é necessário o uso de álcoois de cadeia curta como o metanol ou etanol que tem como um dos subprodutos da reação a glicerina. Assim, podem-se esperar efeitos no mercado da cana sobre o custo de produção do biodiesel.

Outro impacto pode ser observado no uso do biodiesel como um *blend* (Biodiesel BX). Isso atrela o biodiesel ao mercado do petróleo. Como a adição de biodiesel é limitada, um aumento no preço do petróleo vai acarretar aumento no preço do diesel, diminuindo seu consumo no curto prazo e, por consequência, diminuindo o consumo do biodiesel adicionado.

Em ambos os casos, sem um modelo, é difícil inferir os impactos.

O biodiesel contribui na reciclagem de resíduos de óleo vegetal. Ao não se utilizar o biodiesel, deixa-se de criar um uso produtivo para esses resíduos. Uma estimativa da empresa Tecbio indica que o preço da matéria-prima fica em torno de 65% a 85% do preço final do biodiesel ([TECBIO, 2005](#)). Essa possibilidade de reciclagem é um dos pontos positivos que países europeus e os EUA vêm no biodiesel.

O estudo de viabilidade do uso de diferentes fontes de óleo vegetal deve levar em conta a qualidade química do óleo. Diferentes óleos vegetais produzem biodiesel com diferentes características. Os óleos vegetais possuem diferentes ácidos graxos componentes. Esses ácidos apresentam três características básicas: (1) comprimento da cadeia hidrocarbônica; (2) número de insaturações (duplas ligações); e (3) presença de grupamentos químicos. Essas características determinam diversas qualidades de biodiesel. Uma grande cadeia de ácidos graxos determina melhor lubrificidade do produto. Todavia, cadeias muito grandes (ésteres alquílicos do ácido erúxico, araquidônico ou eicosanóico) são inviáveis em locais com invernos rigorosos. Quanto menor o número de insaturações, maior o número de cetanos, definindo maior ponto de névoa, o que causa incrustações, entupindo os bicos injetores. Assim, quanto mais cetano, melhor a combustão. Maior número de insaturações implicam um produto menos estável, sujeito a degradações, oxidações e polimerizações, exigindo maior cuidado no armazenamento e no transporte ([TECBIO, 2005](#)).

## **Simulação e economia do biodiesel**

A pesquisa sobre o biodiesel está bem encaminhada quanto à sua obtenção a partir de óleos vegetais e na sua transformação em energia mecânica por meio de motores a combustão. Existe algo ainda a se estudar no desenvolvimento (prototipagem) de motores readaptados para o consumo do óleo diesel de biomassa. Esses estudos são necessários para diminuir a produção de poluentes, principalmente, dos gases de efeito estufa. Acredita-se que, com o advento da



inovação dos motores multicomcombustíveis, não haja impedimento para a produção de motores para a utilização do biodiesel em escala comercial.

A grande incógnita que surge na questão do biodiesel é quais os *tradeoff* associados às fontes de óleo vegetal (ou combinação delas) em relação a preço da matéria-prima, rendimento por área da cultura oleaginosa, investimento inicial, retorno do investimento, benefícios sociais, renda ao produtor, impacto ambiental e sustentabilidade da produção em diferentes contextos regionais e de mercados.

Uma resposta a essa questão permitirá definir claramente quais serão as políticas públicas de investimento para os setores energético e agrícola brasileiros. Não só em termos de energia para o transporte, mas também de energia elétrica e calorífica. Ajudará a montar o quebra-cabeça de qual a composição ideal da matriz energética brasileira em termos de petróleo, carvão, hidroenergia, energia nuclear, eólica e de biomassas. Ajudará, também, a definir a produção agrícola e as áreas que deverão sofrer incremento produtivo para atender as demandas de bioenergia.

Os investimentos definirão impactos sociais ao estimular o desenvolvimento em áreas isoladas e sem infra-estrutura. Uma escolha mais racional das espécies, das áreas e da escala de produção aumentará a probabilidade de sucesso dos empreendimentos e, assim, a fixação do homem no campo. A diminuição do risco pela informação gerada por este estudo ajudará no planejamento da organização da produção, estimulando o surgimento de cooperativas e associações de produtores ou, simplesmente, ajudando na tomada de decisão daquelas já existentes.

Como se pode notar, o biodiesel apresenta vários impactos.

O uso de modelos de simulação disponibilizará mais informações sobre uma opção produtiva para o agricultor. Informará os preços de entrada no mercado de cada espécie estudada, quais as espécies e áreas ideais para cada região, qual o nível produtivo economicamente viável e, dessa forma, estimar o número de empregos potenciais, a renda esperada e a distribuição da riqueza proporcionada pelo biodiesel.

Os modelos de simulação apoiarão a definição de linhas de pesquisa agrícola. Com base nos dados básicos de viabilidade técnica, os parâmetros de

rendimento produtivos, a capacidade de fixação de carbono e o custo de produção serão passíveis de determinar quais as espécies com maior potencial econômico. A partir disso, podem-se priorizar espécies de melhor vantagem comparativa, ajudar na escolha de espécies nativas locais ou estimular a pesquisa de bioenergia com espécies com outro uso econômico. Assim, pesquisas com melhoramento genético poderiam focar nas espécies mais promissoras.

Além disso, o uso de modelos de simulação poderá oferecer mais uma aplicação dentro do planejamento da pesquisa agropecuária ao se aliar com a Sociologia e a Economia na criação de cenários socioeconômicos sofisticados nos quais as dimensões rural e urbano não estão claramente delineadas, como é o caso do setor energético. Os modelos de simulação permitirão integrar os diferentes conhecimentos técnicos em um modelo consistente, organizado e modular.

Existe uma contribuição ambiental dos modelos de simulação ao fornecer uma maneira de prever os balanços de carbono pelas espécies exploradas. Isso pode compor um protocolo para avaliação de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpos (MDLs). Dessa forma, futuramente, um dado projeto agrícola poderá ter direito a vender créditos no mercado de carbono. Além disso, à medida que a simulação identifique diferentes espécies para exploração, ela estará apoiando o policultivo e a diversidade ambiental.

## Considerações Finais

O cenário mundial vem sinalizando com três grandes movimentos nos últimos anos. O primeiro, é a crescente preocupação com a poluição ambiental, fruto do entendimento de que o homem é parte da natureza e dela depende. O segundo, é o aumento no consumo de energia. Diante do aumento da população, da diminuição da pobreza e do contínuo surgimento de inovações tecnológicas, tem-se ampliado o consumo de bens e serviços, demandando mais energia para a sua produção, bem como para o seu uso. O terceiro movimento é a compreensão de que não existe desenvolvimento sem energia.

O biodiesel tem ganhado o foco das atenções porque é capaz de responder a esses três movimentos. Ele é uma solução sustentável em termos de ciclagem de carbono por não queimar estoques geológicos, tais como petróleo e carvão mineral. É uma fonte energética viável tecnicamente para adoção em larga escala

e em curto espaço de tempo. Para tal, a elaboração de políticas de investimento para o setor seja públicas, seja privadas, é fundamental. Todavia, elas esbarram na dificuldade que existe em sua elaboração dada a complexidade do setor. No aspecto de desenvolvimento, a produção de biodiesel pode ser um instrumento para sua “interiorização”, uma vez que a matéria-prima pode ser obtida, localmente, de diversas plantas oleaginosas, e o seu consumo pode ser feito com motores de ciclo diesel convencionais. Para áreas isoladas, ela dá autonomia para a geração de energia e, logo, fornece condições para a produção e o desenvolvimento da região.

Apesar da viabilidade técnica, social e ambiental na obtenção e no uso do biodiesel, fica em aberto a questão de viabilidade econômica. No lado da oferta, existem várias possíveis fontes de óleo vegetal, determinando diferentes custos de produção que podem ou não ser competitivas em face do preço do petrodiesel. Do lado da demanda, o biodiesel implica impactos em termos de balanço de gases de efeito estufa, em um benefício como opção produtiva para empreendimentos familiares rurais, atingindo faixas mais carentes da população, e em desenvolvimento econômico urbano gerado nas regiões com falta de infraestrutura de transporte e energia elétrica.

Assim, fica evidente que o uso de modelos de simulação é uma maneira interessante para caracterizar o biodiesel e a sua cadeia produtiva, estudar de forma prospectiva soluções políticas, observar impactos sociais, ambientais e econômicos. Além disso, dada a sua base na Teoria dos Sistemas, permite a análise em diferentes níveis de organização não só em termos de Cerrado, como também em termos nacional ou mundial.

## Referências

AEGIS TECHNOLOGIES. **ACSL Xtreme**. Disponível em: <<http://www.acslsim.com>>. Acesso em: 06 jun. 2005.

AGÊNCIA BRASIL. Brasil Agora. **Pólo de biocombustíveis será sediado em São Paulo**. 2004. Disponível em: <<http://www.radiobras.gov.br/materia.phtml?materia=168523>>. Acesso em 17 jun. 2005.

AGÊNCIA CT. **Decreto regulamenta introdução do biodiesel na matriz energética**. Disponível em: <[http://agenciact.mct.gov.br/index.php?action=/content/view&cod\\_objeto=26096](http://agenciact.mct.gov.br/index.php?action=/content/view&cod_objeto=26096)>. Acesso em: 17 jun. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Anuário estatístico 2004**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/conheca/anuario\\_2004.asp](http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2004.asp)>. Acesso em: 20 jun. 2005.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima de plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória da população de Araraquara-SP**. 2001. 188 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário estatístico**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

BARRETT, J. R.; NEARING, M. A. Humanization of decision support using information from simulations. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p.1-17.

BERGER, T. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 25, n. 2/3, p. 245-260, 2001.

BIODIESEL BR. **Vantagens do biodiesel**: por que usar o biodiesel? Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel.htm>>. Acesso em: 07 jun. 2005.

BOLTE, J. Object-oriented programming for decision systems. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 629-650.

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO mode. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 651-692.

BRADSHAW, G. A.; BORCHERS, J. G. Uncertainty as information: narrowing the science-policy gap. **Conservation Ecology**, Waterloo, v. 4, n. 1, p. 7, 2000. Disponível em: <<http://www.consecol.org/vol4/iss1/art7/>>. Acesso em: 24 jun. 2005.

COSTA, M. do R. M.; FIGUEIREDO, R. C. Manganês. **Sumário mineral**, Brasília, DF, v. 24, p. 82-83, 2004.

DRUMMOND, J. A. **O manganês do Amapá: o seu papel no desenvolvimento regional e nacional (1957-1998) ou quando um recurso estratégico não é tão estratégico**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2., 2004, Indaiatuba, SP. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2004. 35 p.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **A empresa: atuação sistemas isolados**. Disponível em: <[http://www.eletronbras.gov.br/EM\\_Atuacao\\_SistIsolados/default.asp](http://www.eletronbras.gov.br/EM_Atuacao_SistIsolados/default.asp)>. Acesso em: 20 jun. 2005.

FRANCE, J.; THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in agriculture**. Reino Unido: Butterworths, 1984. 335 p.

FRANTA, W. R. Simula language summary. **ACM SIGPLAN Notices**, v.13, n. 8, p. 243-244, ago. 1978.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2001. 322 p.

FURTADO, C. Promessas e incertezas. **Desafios do desenvolvimento**, Brasília, v. 2, n. 11, p.16-23, jun. 2005.

GARCIA, C. **Modelagem e simulação de processos industriais e de sistemas eletromecânicos**. São Paulo: USP, 1997. 458 p.

HODGES, H. F.; WHISLER, F. D.; BRIDGES, S. M.; REDDY, K. R.; McKINION, J. M. Simulation in crop management: GOSSYM/COMAX. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 235-281.

JONES, J. W.; LUYTEN, J. C. Simulation of biological processes. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 19-62.

LAL, H. Whole-farm simulation of field operations: an object-oriented approach. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 567-595.

LECLER, N. L. Integrated methods and models for deficit irrigation planning. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 283-299.

LIMA, J. P. R.; SICSÚ, A. B. **Revisitando o setor sucro-alcooleiro do nordeste: o novo contexto e a reestruturação possível.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. 20 p. (Estudos Infosucro, 4).

MATHWORKS. **The Mathworks:** simulink, simulation and model-based design. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/simulink/index.shtml>>. Acesso em: 07 nov. 2005.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa:** o caso do município do Rio de Janeiro. 2001. 179 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

OMMAN, I. How can multi-criteria decision analysis contribute to environmental policy making?: a case study on macro-sustainability in Germany. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS, 3., 2000, Viena. **Anais eletrônicos...** Viena: European Society for Ecological Economics, 2000. p.1-26. Disponível em: <<http://www.kfunigraz.ac.at/ines.omann/inesesee.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2005.

PANESAR, B. S. Integrating spatial and temporal models: an energy example. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation.** Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 93-111.

PARÂMETROS de emissão de gases de efeito estufa por veículos pesados no Brasil. **Economia & Energia**, n. 25, mar./abr. 2001. Disponível em: <<http://ecen.com/matriz/eee25/veiculps.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

PERIN FILHO, C. **Introdução à simulação de sistemas.** Campinas: Unicamp, 1995. 163 p. (Coleção Livro-texto).

PETROBRÁS. **O Brasil auto-suficiente em petróleo.** Disponível em: <<http://www.autosuficiencia.com.br/geral/geral.asp>>. Acesso em: 07 nov. 2005.

PROGRAMA Nacional de Produção e uso de Biodiesel. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/programa.html>>. Acesso em: 17 jun. 2005.

RAMOS, P. A agroindústria canavieira do Brasil: referencial historiográfico, temas e fontes. **América Latina en la Historia Económica**, México, n. 11, jan./jun. 1999.

ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L. A. B. Towards ProAlcool II: a review of the Brazilian bioethanol programme. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, n. 14, v. 2, p.115-124, 1998.

TECBIO. Tecnologias Bioenergéticas Ltda. **O biodiesel**. Disponível em: <[http://www.tecbio.com.br/Biodiesel\\_Faqs.htm#11](http://www.tecbio.com.br/Biodiesel_Faqs.htm#11)>. Acesso em: 20 jun. 2005.

WOODWARD, S. J. R. Dynamical systems models and their application to optimizing grazing management. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. p. 419-473.

# Simulation Models and its Potential Application in Economic Studies of Biodiesel

---

**Abstract** – *This paper introduces the system simulation technique and looks for potential application in the biodiesel agribusiness. The simulation basics are presented. It's described the components of a simulation model, the models classification and the model construction process. Some uses in decision making and agricultural problems are shown. The decision making models search for possibilities while scientific models search for probabilities. The agricultural models have a high degree of uncertainty. In biodiesel agribusiness, this uncertainty is represented by its nationwide market, the long-run decision making, high investments and deep and diffuse social and environmental impacts. A simulation model study would be able to quantify the tradeoffs between the vegetal oil sources and their raw material prices, initial investment, investment return, farmer income, crop productivity, social impact, environmental impact and production sustainability in different areas and markets. The answer to this question will help to build public investment policies in the Brazil's agroenergy and agriculture sectors, to help the farmer to plan his production, to define genetic improvement research lines, to build environmental indicators, to define a protocol of Clean Development Mechanism (CDM) projects evaluation, to support policulture and environmental diversity, to determine the antropoc pressure and to integrate the different technical knowledge in one single model. This paper emphasizes the use of biodiesel as an alternative to generate electricity through stationary diesel engines in areas not supplied with power lines, mainly in the Northern and Northeastern part of Brazil. Due to the problem complexity, the simulation arises as an useful tool to support biodiesel studies.*

*Index Terms: simulation, mathematic modeling, biodiesel, biofuel, agroenergy, agricultural economics, rural development.*