

IPEA/INPE
Serv. de
Documentação

DOCUMENTO PRELIMINAR
GRUPO DE ENERGIA
Nº 11

"Um Modelo de Análise da
Produção de Energia pela
Agricultura"

Fernando Curi Peres
José R. Mendonça de Barros
Léo da Rocha Ferreira
Luiz Moricochi

Agosto de 1982

Um modelo de análise da produção de
energia pela agricultura



RJF0486/85

IPEA - RJ

IPEA
18-82

IPES

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO
ECONOMICO E SOCIAL
Serviço de Documentação

F. N. 486

Data 05/06/85



INSTITUTO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

IPEA / INPES / GRUPO DE ENERGIA

UM MODELO DE ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE
ENERGIA PELA AGRICULTURA

Fernando Curi Peres
José R. Mendonça de Barros
Léo da Rocha Ferreira
Luiz Moricochi

IPEA/INPES
Serv. de
Econômico

Rio de Janeiro

-

Agosto de 1982

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS	2
3- METODOLOGIA	3
3.1- O Modelo Matemático	3
3.1.1- Os Índices	7
3.1.2- Os Conjuntos	7
3.1.3- As Atividades e Limites	9
3.1.4- Os Coeficientes Técnicos	12
3.1.5- Os Preços	13
3.1.6- Características do Modelo	14
3.1.7- Algumas Limitações do Modelo	19
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

IPÊ
Serv. de
Documentação

UM MODELO DE ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE
ENERGIA PELA AGRICULTURA*

Fernando Curi Peres

José R. Mendonça de Barros

Léo da Rocha Ferreira

Luiz Moricochi

1 - INTRODUÇÃO

A agricultura é essencialmente um processo de conversão de energia, isto é, a coleta e conversão de energia solar, através da fotossíntese, em biomassa. Tradicionalmente, o papel da agricultura brasileira tem sido o da produção de alimentos, fibras e outros insumos para os demais setores da economia. Parte desta produção vem sendo utilizada na geração de divisas necessárias ao financiamento das importações, especialmente de bens de capital e de insumos básicos à economia. Contudo, a necessidade de adaptação da economia brasileira à nova realidade que se seguiu à "crise do petróleo" vem demandando do setor agrícola uma posição de maior destaque na geração de energia alternativa. Esta nova fonte de pressão sobre o setor é resultado do agravamento da inflação, da necessidade contínua de elevação das exportações e da redução da dependência de petróleo importado.

* Resumo do trabalho "Agricultura e Produção de Energia: Avaliação do Custo de Matéria-Prima para a Produção de Álcool", elaborado pelo convênio IPEA/IPT.

Dado o provável conflito que poderá resultar da tentativa de se estabelecer metas ambiciosas para estes três desafios ao setor agrícola brasileiro - produção de alimentos e fibras a preços relativos decrescentes como forma de aliviar pressões inflacionárias, aumento das exportações e, ainda, aumento significativo da participação do setor na produção da energia consumida pelo País -, é preciso estudar as implicações e possibilidades de se tentar atingir, simultaneamente, estes três objetivos.

2 - OBJETIVOS

O objetivo do estudo é a avaliação de programas de utilização de biomassas como fontes alternativas de energia. Tais programas fixam, em geral, metas de substituição de parte da demanda de derivados de petróleo por produtos do setor agrícola, tais como álcool, lenha, carvão vegetal, óleos vegetais, etc. A substituição destas demandas diz respeito não somente aos custos da produção agrícola, de implantação e operação de usinas de processamento, de transporte dos insumos até as usinas e daí até os centros consumidores, como também aos custos que decorrerão do deslocamento de outras culturas com seus reflexos no atendimento do mercado interno e no balanço de pagamentos.

Especificamente, o trabalho objetivou: a) derivar funções de oferta de álcool; b) estimar o impacto da produção de álcool em relação à produção de alimentos e fibras para o mercado interno e de exportação; c) determinar em que regiões deve ser expandida a cultura da cana-de-açúcar para produção de ál-

cool, de modo a reduzir a um mínimo os custos sociais do programa de expansão da cultura; e d) fornecer subsídios a programas de zoneamento de culturas nos níveis nacionais e regionais.

O Instituto de Planejamento Econômico e Social (IPEA) está desenvolvendo um estudo maior, de avaliação do impacto sobre a economia brasileira do uso de alternativas energéticas, e cujo horizonte de análise estende-se até o ano 2000. Este estudo é parte daquele e trata, especificamente, do setor agrícola.

3 - METODOLOGIA

3.1 - O Modelo Matemático

Para atingir os objetivos propostos, foi desenvolvido um modelo de programação linear dinâmico, com tempo medido como variável discreta. A programação matemática foi escolhida porque permite trabalhar, simultaneamente, com grande número de variáveis e, principalmente, porque espera-se que durante o horizonte de planejamento considerado ocorram mudanças estruturais importantes no setor agrícola do País, reduzindo a confiabilidade no uso de técnicas econométricas positivas. Ainda, dada a riqueza de detalhes considerados nestes modelos, a programação matemática facilita a derivação das funções de oferta de produtos ou demanda de fatores do setor.

Formalmente, o modelo é dado por:

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ Maximizar } R = & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{h \in H_1} \xi_{hk} (1 + \rho)^{-t} E_{hk}^t PF_{hk} + \\
 & + \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \sum_{h \in H_2} \xi_{hn} (1 + \rho)^{-t} EE_{hn}^t PF_{hn} + \\
 & + (1 + \rho)^{-T} VP - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in JPL} \xi_{jik} (1 + \rho)^{-t} X_{jik}^t CP_{jik} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in JPR} \xi_{jik} (1 + \rho)^{-t} Z_{jik}^t CZ_{jik} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H \xi_{hk} (1 + \rho)^{-t} M_{hk}^t PC_{hk} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \sum_{h=1}^H \xi_{kzh} (1 + \rho)^{-t} Z_{kzh}^t l_{kzh}^{CT} - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \xi_{kza} (1 + \rho)^{-t} Z_{kza}^t l_{kza}^{CT} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{z=1}^Z \xi_{kzb} (1 + \rho)^{-t} Z_{kzb}^t l_{kzb}^{CT} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \xi_{ak} (1 + \rho)^{-t} P_{ak}^t MU_a - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \xi_{bk} (1 + \rho)^{-t} P_{bk}^t MU_b - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{k=1}^K \xi_{ik} (1 + \rho)^{-t} AA_{ik}^t CA_{ik} - \\
 & - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{k=1}^K \xi_{ik} (1 + \rho)^{-t} AB_{ik}^t CB_{ik}
 \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$(2) \text{ } BA_{ik}^t + BA_{ik}^t - \left[\sum_{j \in JMA} X_{jik}^t + \sum_{j \in JPA} (X_{jik}^t + Z_{jik}^t) \right] = 0 \quad \forall (i, k), t$$

- (3) $Z_{jik}^t - (1 - \delta_j) Z_{jik}^{t-1} - X_{jik}^{t-1} = 0 \quad \forall (i, k), j \in JPA, t$
- (4) $BAL_{ik}^1 + BA_{ik}^1 - AA_{ik}^1 + FA_{ik}^1 = SA_{ik} \quad \forall (i, k)$
- (5) $BAL_{ik}^t + BA_{ik}^t - (BAL_{ik}^{t-1} + BA_{ik}^{t-1}) - AA_{ik}^t + FA_{ik}^t - FA_{ik}^{t-1} = 0 \quad \forall (i, k), t \geq 2$
- (6) $BAL_{ik}^t = 0 \quad \forall (i, k) \in ZPT$
- (7) $BAL_{ik}^t \leq IA_{ik} \quad \forall (i, k) \in ZPN, t$
- (8) $X_{jik}^1 - AB_{ik}^1 + FB_{ik}^1 = SB_{ik} \quad \forall (i, k), j \in JB$
- (9) $X_{jik}^t - X_{jik}^{t-1} - AB_{ik}^t + FB_{ik}^t - FB_{ik}^{t-1} = 0 \quad \forall (i, k), j \in JB, t \geq 2$
- (10) $\sum_{t=1}^T AA_{ik}^t \leq (STA_{ik} - SA_{ik}) \quad \forall (i, k)$
- (11) $\sum_{t=1}^T AB_{ik}^t \leq (STB_{ik} - SB_{ik}) \quad \forall (i, k)$
- (12) $X_{jik}^t - (1 + \alpha_{jik}) X_{jik}^{t-1} \leq 0 \quad \forall (i, k) \in ZPT, j \in JPL, t$
- (13) $BA_{ik}^t - (1 + \alpha'_{ik}) BA_{ik}^{t-1} = VMA_{ik} \quad \forall (i, k) \in ZPN, t$
- (14) $-X_{jik}^t + (1 - \beta_{jik}) X_{jik}^{t-1} \leq 0 \quad \forall (i, k) \in ZPT, j \in JM, t$
- (15) $\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j \in JCA} \left[X_{jik}^t + Z_{jik}^t - (1 + \theta) (X_{jik}^{t-1} + Z_{jik}^{t-1}) \right] \leq 0 \quad \forall t$

$$(16) \sum_{i=1}^{I_k} \left[\sum_{j \in JM} x_{jik}^t y_{jik}^h + \sum_{j \in JPh} (x_{jik}^t y_{jik}^h + z_{jik}^t yz_{jik}^h) \right] + \\ + \sum_{l=1}^K k_{lh}^t - \sum_{l=1}^K l_{lh}^t + M_{hk}^t - E_{hk}^t \geq D_{hk}^t \quad \forall k, t, h \in H_C$$

$$(17) - \sum_{i=1}^{I_k} (x_{jik}^t y_{jik}^{\bar{h}} + z_{jik}^t yz_{jik}^{\bar{h}}) + P_{ak}^t + P_{bk}^t \leq 0 \quad \forall t, k$$

$$(18) C_a P_{ak}^t + C_r P_{bk}^t + M_{ak}^t - E_{ak}^t + \sum_{l=1}^K k_{la}^t - \sum_{l=1}^K l_{la}^t \geq D_{ak}^t \quad \forall k, t$$

$$(19) C_b P_{bk}^t + M_{bk}^t - E_{bk}^t + \sum_{l=1}^K k_{lb}^t - \sum_{l=1}^K l_{lb}^t \geq D_{bk}^t \quad \forall k, t$$

$$(20) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} \left[\sum_{j \in JM} x_{jik}^t m_{jik}^s + \sum_{j \in JJP} (x_{jik}^t m_{jik}^s + z_{jik}^t m_{jik}^s) \right] + \\ + \sum_{g=1}^5 M_{g}^{t-g} \leq LM_s^t \quad \forall t, s = 1, 2$$

$$(21) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} \left[\sum_{j \in JM} x_{jik}^t ff_{jik} + \sum_{j \in JJP} (x_{jik}^t ff_{jik} + z_{jik}^t fz_{jik}) \right] - MF^t \leq LF^t \quad \forall t$$

$$(22) - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j \in JJP} v_{jik}^t x_{jik}^t + VP = 0$$

$$(23) \sum_{k=1}^K E_{hk}^t - \sum_{n=1}^N EE_{hn}^t = 0 \quad \forall t, h \in H_2$$

$$(24) EE_{hn}^t \leq LE_{hn} \quad \forall n, h \in H_2, t$$

$$(25) x_{jik}^t + z_{jik}^t \leq APC_{ik} \quad \forall (i, k), t$$

A seguir relacionam-se os índices, os conjuntos, as atividades e limites, os coeficientes técnicos, os preços, as características e algumas limitações do modelo.

3.1.1 - Os Índices

ρ é a taxa de desconto (bianual) dos fluxos monetários;

$j = 1, 2, \dots, J$ é um índice para culturas (\bar{j} refere-se à cultura da cana-de-açúcar);

$h = 1, 2, \dots, H$ é um índice para produtos (\bar{h} refere-se à cana);

$i = 1, 2, \dots, I_k$ é um índice para as regiões de produção que compõem a região de consumo k ;

$l = 1, 2, \dots, K$ e $k = 1, 2, \dots, K$ são índices para as regiões de consumo;

(i, k) identifica uma região de produção dentro de uma região de consumo;

$t = 1, 2, \dots, T$ é um índice de tempo, medido em biênios;

$n = 1, 2, \dots, N$ é um índice para as diferentes faixas de preço de exportação de um mesmo produto $h \in H_2$;

$s = 1, 2$ são subperíodos do ano agrícola;

3.1.2 - Os Conjuntos

H_1 é o conjunto de produtos para os quais a demanda internacional é perfeitamente elástica (valem as pressuposições de país pequeno);

H_2 é o conjunto de produtos para os quais o País tem poder de alteração dos preços;

HC é o conjunto de todos os produtos de consumo considerados, exceto açúcar e álcool;

JPL é o conjunto das atividades de cultivo de culturas anuais e bianuais e das atividades de plantio e cultivo, nos dois primeiros anos, das culturas perenes e plurianuais (este conjunto inclui a bovinocultura);

JPR é o conjunto das atividades de manutenção de plantas em produção das culturas perenes;

JCA é o conjunto das culturas de solo tipo A (exceto a bovinocultura);

JMA é o conjunto das culturas de um período (anuais e bianuais) exploradas em solo tipo A, (inclui a bovinocultura);

JPA é o conjunto das culturas perenes ou plurianuais de solo tipo A;

JB é o conjunto das culturas de solo tipo B;

JM é o conjunto das culturas de um período (inclui a bovinocultura);

JP é o conjunto das culturas plurianuais e perenes;

JMh é o conjunto das culturas de um período que produzem o produto h;

JPh é o conjunto das atividades de plantio e manutenção de plantas adultas de uma cultura perene ou plurianual que produz o produto h;

ZPN é o conjunto das regiões de produção novas ou áreas de fronteira;

ZPT é o conjunto das regiões tradicionais ou regiões já exploradas;

3.1.3 - As Atividades e Limites

x_{jik}^t são atividades de plantio e cultivo, em hectare, de culturas anuais e bianuais e cultivo nos dois primeiros anos das culturas perenes ou plurianuais na região de produção (i, k), em t. A essas atividades, que incluem a bovinocultura, estão associados os níveis de produtividade, por hectare, $YY_{jik}^h \geq 0$. O produto h pode ser produzido por uma ou mais atividades de produção j. Por outro lado, uma atividade de produção j pode produzir um ou dois produtos h;

z_{jik}^t são atividades de cultivo ou manutenção de plantas perenes em produção, em hectare, no período t e na região (i, k). A cada uma destas atividades está associado um nível de produtividade $YZ_{jik}^h > 0$;

M_{hk}^t são atividades de importação do produto h em tonelada pelo porto k (algumas sedes de regiões de consumo são consideradas portos para comércio exterior) em t. M_{ak}^t e M_{bk}^t referem-se às importações de álcool (a) e açúcar (b), respectivamente;

E_{hk}^t são atividades de exportação do produto h em tonelada pelo porto k em t. E_{ak}^t e E_{bk}^t referem-se às exportações de álcool e açúcar, respectivamente. EE_{hn}^t são as quantidades exportadas a preços decrescentes (produtos para os quais

não se aplicam as pressuposições de país pequeno), definidas pelas equações 23 e 24;

P_{ak}^t, P_{bk}^t são atividades de processamento industrial da cana-de-açúcar (\bar{h}), produzindo álcool e açúcar, no período t , na região de consumo k . Estão medidas em toneladas de cana-de-açúcar moídas;

$l_{k^h}^t$ são atividades de transporte da região de consumo k para a região l . $l_{k^a}^t, l_{k^b}^t$ referem-se aos transportes de álcool e açúcar, respectivamente;

MF^t são atividades de importação de fertilizantes, em cruzeros de 1978, em t . Admite-se como constante a relação de preços entre os nutrientes N, P_2O_5 e K_2O .

MM^t são atividades de importação de tratores (CV/hora) no período t ;

AA_{ik}^t, AB_{ik}^t são atividades de abertura de novas áreas (em ha) na região (i, k) em t , respectivamente, em solos tipo A e B;

VP_{jik}^t são os valores atuais (1978) das "margens brutas" futuras, avaliadas no final do horizonte de planejamento (condições terminais) para as atividades do subconjunto JPL e JP. O valor VP é definido pela equação 22;

BAL_{ik}^t é a parte da área cultivada (em ha) em solo tipo A, da região (i, k) e ZPN, em t , que não excede o limite LA_{ik} ;

LA_{ik} é a área limite para solo tipo A, para a qual não se aplica a restrição de flexibilidade definida para $(i, k) \in ZPN$;

BA_{ik}^t é a parte da área cultivada em solo tipo A, em t, que excede o limite LA_{ik} . Como $LA_{ik} = 0$ para $(i, k) \in ZPT$, BA_{ik}^t representa, nessas regiões, o total da área cultivada em solo tipo A;

FA_{ik}^t, FB_{ik}^t são as áreas disponíveis, não utilizadas, em (i, k) , no período t, em solos tipo A e B, respectivamente;

SA_{ik}, SB_{ik} são as áreas disponíveis de solos tipo A e B aráveis, no período-base, na região (i, k) ;

STA_{ik}, STB_{ik} são as disponibilidades totais de solos tipo A e B, na região (i, k) . Compreendem terras aráveis e terras que ainda precisam ser "abertas" para sua exploração;

VMA_{ik} é o valor mínimo de expansão bianual de área cultivada para solo tipo A na região $(i, k) \in ZPN$;

LM_s^t é a disponibilidade nacional de máquinas, em t, em dois subperíodos críticos do ano ($s = 1$ e 2) em unidades de trabalho (horas/CV) dada pela capacidade nacional de produção mais o estoque inicial de tratores, devidamente depreciado;

LF^t é a disponibilidade nacional de fertilizantes, em cruzeiros de 1978, em t, dada pela capacidade instalada (projetada) da indústria nacional;

- LE_{hn} é o limite em tonelada de exportação do produto h e H_2 , na faixa de preço n;
- D_{hk}^t é a quantidade em tonelada demandada do produto h, na região de consumo k, em t. D_{ak}^t e D_{bk}^t referem-se, respectivamente, às demandas de álcool e açúcar;
- APC_{ik} é a área apta para a cultura de cana-de-açúcar na região (i, k).

3.1.4- Os Coeficientes Técnicos

- C_a, C_b, C_r são coeficientes técnicos de transformação de cana-de-açúcar em álcool (C_a), em açúcar (C_b) e em álcool residual do processo de produção de açúcar (C_r);
- $\alpha_{jik}, \beta_{jik}$ são coeficientes superiores (expansão) e inferiores (contração de área) da cultura j em (i, k) \in ZPT e de j \in JB quando (i, k) \in ZPN;
- mm_{jik}^s, mz_{jik}^s são requerimentos técnicos de horas de trabalho de máquina (CV/hora) para cultivo de 1 ha da cultura j em (i, k) nos subperíodos críticos (s = 1 e 2) do período;
- ff_{jik}, fz_{jik} são requerimentos de fertilizantes (Cr\$/ha) para cultivo de 1 ha da cultura j em (i, k);
- $\alpha_{ik}, \alpha'_{ik}$ são coeficientes de flexibilidades regionais superiores (expansão) para os totais das áreas agricul

tadas nos solos tipo A e B, respectivamente, nas regiões (i, k) e ZPN;

θ é a taxa bianual máxima de crescimento da área cultivada (exceto com bovinocultura) do País;

δ_j é a taxa bianual de erradicação (não voluntária) das culturas j e JPR;

3.1.5 - Os Preços

CP_{jik} , CZ_{jik} são os custos de produção da cultura j, por ha, os quais incluem, também, os custos de transporte do produto até a sede da região consumidora k. Todos os "preços" do modelo são constantes durante todo o período considerado, exceto os dos produtos $h \in H_2$ (PF_{hn});

PF_{hk} são os preços FOB/t do produto h, exportado pelo porto k. Os produtos $h \in H_2$ têm seus preços (PF_h^t) determinados pelo modelo (endógenos);

PC_{hk} são os preços CIF/t do produto h, importado pelo porto k;

${}^l_k CT_h$ são os custos de transporte por t do produto h, da região de consumo k para a região l. ${}^l_k CT_a$ e ${}^l_k CT_b$ referem-se aos custos de transporte de álcool e açúcar, respectivamente;

MU_a, MU_b são os custos industriais de transformação da cana-de-açúcar em álcool ou açúcar (mais álcool residual) em Cr\$/t. de cana processada;

CA_{ik}, CB_{ik} são custos de "abertura" de novas áreas ou de incorporação de solos (drenagem, destoca, etc.) em regiões já exploradas, com solos tipo A e B, respectivamente.

3.1.6 - Características do Modelo

Os termos que contribuem positivamente para a função-objetivo são as receitas de exportação e o valor residual dos investimentos em culturas perenes cujos períodos de vida útil ultrapassaram o horizonte de planejamento considerado.

Contribuem negativamente para a função-objetivo os custos de produção das diversas fases das culturas, as importações de produtos de consumo (valores CIF), os custos de transporte interno dos produtos, os custos industriais de transformação de cana-de-açúcar em álcool e açúcar e, finalmente, os custos de abertura de novas áreas para a agricultura nos dois tipos de solo, tanto em regiões de desbravamento recente ou de fronteira (ZPN) quanto em regiões já agricultadas ou tradicionais (ZPT).

A função R foi maximizada, sujeita a restrições de abastecimento do mercado interno, de crescimento da área total agricultada no País - uma proxy para as restrições de capital, mão-de-obra e outros fatores que limitam o crescimento da área cultivada - e de ajustamento temporal das áreas plantadas, por

cultura, para cada região de produção. As principais características destas restrições e das atividades consideradas no modelo são discutidas a seguir.

As expressões 2 a 15 compreendem as restrições de terra (este é o único fator de produção explicitamente restritivo no modelo). que limitam o crescimento das áreas cultivadas.

As expressões 2 a 11 definem as áreas cultivadas nos dois tipos de solo considerados (A e B) e impõem restrições de disponibilidade total de solo e de áreas já "abertas" ou aráveis, em cada região de produção, nos diversos períodos.

O modelo incorporou restrições que limitam a expansão/contração temporal das áreas plantadas com as diversas culturas a limites dados pelas soluções das equações a diferenças lineares de primeira ordem e homogêneas:

$$x^t - (1 + \alpha)x^{t-1} = 0 \quad \text{e} \quad x^t - (1 - \beta)x^{t-1} = 0$$

com $\alpha \geq 0$ e $\beta \geq 0$ e as respectivas condições iniciais sendo aquelas que antecedem as mudanças no sentido (acréscimo/decréscimo) de variação da área. Estes coeficientes, chamados de "flexibilidade", sugeridos por Henderson (1959) e geralmente utilizados nos modelos de programação dinâmica do tipo recursivo [Day, (1963)], são incorporados às expressões 12 e 14. Através do uso destes coeficientes, a área plantada de uma cultura em determinada região é limitada na sua expansão/contração bianual devido a resistências econômico-culturais. Estas podem ter suas origens em problemas com o treinamento da mão-de-obra, com a especificidade de máquinas e equipamentos, com os conhecimentos tecnoló-

gicos do empresário, devido às exigências de diversificação de culturas objetivando a redução de riscos, além de resistências a mudanças no ritmo e forma do trabalho, associados a variações no sistema de produção. Estes coeficientes de flexibilidade são compatíveis com formas deterministas dos "coeficientes de ajustamentos" nerlovianos, pois substituem, de maneira ad hoc, modelos complexos de expectativa de rentabilidade (preços e produtividade), reconhecendo a existência de variações temporais (não permanentes) nestas variáveis.

A expressão 13 impõe um coeficiente de flexibilidade superior (expansão) para o agregado da área cultivada nas regiões de produção novas ou de fronteira, em que a área agricultada total pode crescer, sujeita apenas aos custos de "abertura" correspondentes, até determinado limite de área. Depois que este limite é atingido, o crescimento da área plantada passa a ser limitado a uma taxa máxima por período, α'_{ik} .

A última restrição de área, correspondente à expressão 15, impõe um limite superior de crescimento da área total cultivada (exceto pastagens) no País, θ . Ela substitui restrições não incorporadas no modelo, tais como as disponibilidades de capital e mão-de-obra, a nível nacional. Através da parametrização do valor θ , pode-se inferir algumas conclusões sobre os efeitos de políticas de expansão do crédito rural como, por exemplo, uma vez conhecido (de estudos econométricos independentes) o impacto da expansão da oferta de crédito rural na área total agricultada.

As expressões 16 a 19 impõem restrições de abasteci

mento do mercado interno.¹ As quantidades procuradas, por produto, em cada região e em cada período (D_{hk}^t) são exogenamente determinadas. As expressões 17 a 19 tratam, especificamente, do abastecimento interno de açúcar e álcool, únicos produtos industrializados de que se ocupa o modelo. A agroindústria canavieira é, assim, incorporada ao setor agrícola. As variações no valor R (função-objetivo) em resposta à parametrização das quantidades requeridas de álcool nos diversos períodos e regiões (D_{ak}^t) permitem estimar a função de oferta de álcool para o País, objetivo principal do trabalho.

As expressões 20 e 21 são puramente contábeis, no sentido de que não funcionam como restrições efetivas à expansão da área cultivada. A primeira calcula os requerimentos nacionais, por período, de máquinas (tratores) nos subperíodos críticos do ano agrícola. Se esses valores forem superiores à disponibilidade total de tratores no País (LM_S^t), a restrição força a importação de máquinas. A importação de máquinas, assim como a de fertilizantes, não contribui negativamente para a função-objetivo, uma vez que nas estimativas dos valores CP_{jik} e CZ_{jik} os custos de operação das máquinas já estão incluídos. A segunda expressão calcula, de forma semelhante, os requerimen-

¹A madeira pode ser separada do modelo maior, uma sensível redução do número de restrições, na pressuposição de que ocupará somente solos tipo C e só a madeira ocupará estes solos. O aparecimento de rotas longas (custo de transporte superior a determinada fração do custo final da madeira) na solução ótima de um modelo específico de abastecimento de madeira determinará a necessidade de se considerar este produto no modelo maior, permitindo o seu plantio em solos mais nobres.

tos nacionais de fertilizantes e mostra a necessidade ou não de importação deste insumo. O valor da variável endógena MF^t (importação de fertilizantes) deve ser visto, em razão da suposição de que os preços relativos dos elementos N, P_2O_5 e K_2O permanecem constantes em virtude da agregação utilizada, como o saldo comercial (efetivamente realizado ou não) das trocas destes insumos com o exterior.

Os valores residuais dos investimentos em culturas perenes ou plurianuais, cujo período de vida útil, contado a partir da data em que ocorre o plantio, ultrapassa o horizonte de tempo considerado, são computados pela expressão 22. VP é a soma destes valores, avaliados no último período (condições terminais), e contribui positivamente para a função-objetivo.²

As expressões 23 e 24 asseguram que as exportações dos produtos $h \in H_2$ se façam de maneira a tornarem endógenos ao modelo os preços FOB de exportação. São calculados limites máximos de quantidades exportadas (LE_{hn}) a cada nível de preço (PF_{hn}). Através da decomposição da curva de receita marginal de exportação do produto h , em segmentos lineares horizontais, pode-se conseguir boas aproximações ao valor da receita total realizada pelo País (e, conseqüentemente, determinar-se o preço médio de exportação) com a exportação do produto.

Finalmente, todas as variáveis (atividades) do modelo devem assumir valores não-negativos.

²A avaliação de VP^t envolve a suposição implícita de que o Brasil é um "país pequeno" com relação ao(s) produto(s) $h \in JP$. Isto porque na avaliação dos fluxos monetários futuros são utilizados valores FOB constantes (valores esperados) para o produto h .

3.1.7 - Algumas Limitações do Modelo

Algumas das limitações inerentes ao uso dos modelos de programação linear, tais como ausência de economias de escala ou necessidade do uso de funções de produção lineares sem termos de intersecção Gass (1958), Hadley (1962) e Dorfman et alii (1958), podem ser parcialmente contornadas somente às custas de aumentos significativos no número de restrições e atividades do modelo. A matriz dos coeficientes do modelo atinge, facilmente, um tamanho muito grande, de modo a praticamente impossibilitar, devido a problemas de capacidade de processamento dos computadores disponíveis, a recorrência àqueles artifícios que visassem a atenuar as mencionadas limitações. Uma exceção é o uso de preços diferenciados de exportação dos produtos h e H_2 resultantes da decomposição da curva da receita marginal de exportação.

Devido a problemas de dimensão da matriz dos coeficientes, não são consideradas restrições de capital operacional e de mão-de-obra, assim como não puderam ser subdivididos os solos do País em um número maior de classes ou tipos, o que permitiria identificar mais detalhadamente sua aptidão para as diversas culturas e as necessidades diferenciadas de insumos. A ausência de tecnologias alternativas na produção - com exceção do cultivo da cana-de-açúcar com e sem irrigação e da exploração pecuária em solos tipo A e B - corresponde à pressuposição de tecnologias constantes ao longo de todo o período considerado.

Embora o modelo seja basicamente dinâmico, o tratamento específico dado a algumas culturas, especialmente à bovino-

cultura, foi do tipo estático. A bovinocultura de corte está medida em termos de hectares explorados, sob a pressuposição de completa integração vertical das atividades de cria, recria e engorda dos bovinos. De novo, o uso de enfoques dinâmicos de evolução do rebanho faria crescer muito o tamanho da matriz dos coeficientes.

Todos os valores monetários estão expressos em termos de um ano-base, o que corresponde à pressuposição de preços relativos constantes ao longo de todo o horizonte considerado. Como consequência, não há possibilidade de substituição no consumo, exceto pelo efeito-renda.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A matriz final totalizou cerca de 34.000 colunas (atividades ou variáveis)³ e mais de 10.500 linhas (restrições ou equações). Até o presente, foram feitas três rodadas do modelo. Na primeira, pretendeu-se, basicamente, medir o potencial produtivo dos solos do País, sujeito somente às restrições de flexibilidade e admitindo-se, para a maioria dos produtos, que o País poderia aumentar suas exportações sem alterar os preços internacionais. Na segunda, foi imposta a taxa de crescimento global da área plantada de 3,2% ao ano. Uma característica importante destas fases (rodadas) foi que o modelo permitia

³Deve-se notar que a existência de rotas inter-regionais de transporte dos diversos produtos faz crescer rapidamente o número de variáveis.

a substituição quase imediata das tecnologias atuais de cultivo de cana-de-açúcar pela cultura irrigada. Ainda nesta fase, o modelo permitia a exportação de quaisquer quantidades de produtos agropecuários (exceto laranja, açúcar e café) sem alterar os preços interenacionais. Os resultados destas duas fases não serão discutidos aqui. A terceira fase (rodada) apresentou resultados mais interessantes. No caso da cana-de-açúcar, tanto para produção de açúcar quanto de álcool, a função-objetivo teria seu valor aumentado se a produção fosse deslocada para regiões de fronteira. O aumento nos custos de transporte de álcool e açúcar e a possível redução na produtividade da cana seriam mais compensados pelos respectivos ganhos que poderiam ser conseguidos com a destinação de áreas mais nobres, como a região de Ribeirão Preto, por exemplo, para culturas de milho, algodão e soja.

Como o modelo é, fundamentalmente, normativo, seus resultados são, portanto, do tipo "como deveria ser", em vez de reproduzir a realidade. À medida que o sistema de mercado funciona eficientemente como alocador de recursos, os resultados deveriam se parecer com a realidade. Se se admite que o modelo está captando as principais variáveis envolvidas, as diferenças entre os resultados normativos e a realidade estariam indicando o grau de ineficiência do sistema econômico.

Aquelas ineficiências podem ser classificadas, grosseiramente, em três tipos: a) ineficiências estruturais, do tipo de tamanho das propriedades, reduzindo, por exemplo, a capacidade de competição de pequenas empresas no cultivo de culturas que apresentam economias de escala; b) ineficiências devido a

políticas agrícolas, como, por exemplo, o aumento da rentabilidade relativa de uma cultura, tanto pela concessão de subsídios quanto pela proteção ou reserva de mercado; e c) ineficiências devido a condições históricas anteriores que estimularam investimentos em determinadas indústrias, cujas transferências para outras áreas podem ser muito custosas.

No caso presente, pelo menos elementos de ineficiências dos tipos b e c acima devem estar acontecendo. A cultura da cana-de-açúcar instalou-se em áreas privilegiadas de cultivo, e provavelmente continuará a se instalar, reduzindo os ganhos do setor agrícola, devido aos efeitos das políticas de crédito, de preços administrados e de garantia de mercado que caracterizam a agroindústria canavieira. Por outro lado, não considerando os custos de oportunidade do uso dos investimentos industriais já realizados, o modelo penaliza artificialmente regiões atualmente produtoras. Numa próxima rodada, serão impostos limites mínimos de área cultivada com cana-de-açúcar, iguais às capacidades instaladas ou aprovadas de usinas e destilarias em cada região, o que emprestará uma característica positiva ao modelo, aumentando a aderência dos resultados à realidade.

Os resultados permitem classificar os 18 produtos considerados em três grupos quanto à performance do setor até 1985/86. O primeiro compreende o dos produtos dos quais o País tem excedentes exportáveis, incluindo soja, açúcar, café, laranja, algodão, milho, amendoim, fumo e sisal. No segundo, estão a mamona, a mandioca, o feijão e o arroz, produtos com produção suficiente para o abastecimento do mercado interno, além do ál-

cool que, por construção, foi colocado aqui. Finalmente, o leite, a carne, o trigo e a banana⁴ compõem o grupo dos produtos que o País precisa importar em quantidades complementares para o abastecimento interno.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAY, R. Recursive programming and production response. Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 1963.
- DORFMAN, R., SAMUELSON, P. A., e SOLOW, R. M. Linear programming and economic analysis. New York, McGraw-Hill, 1958.
- GASS, S. I. Linear programming: methods and applications. New York, McGraw-Hill, 1958.
- HADLEY, G. F. Linear programming. Reading Mass., Addison-Wesley, 1962.
- HENDERSON, J. M. The utilization of agricultural land: a theoretical and empirical inquiry. The Review of Economics and Statistics, XLI(3), ago. 1959.

⁴O produto figura neste grupo, possivelmente, devido a problemas estatísticos nas medidas de áreas plantadas com a cultura nas diversas regiões.