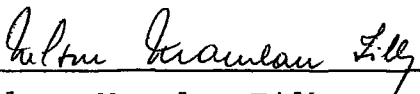


SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA A
EVOLUÇÃO DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO


Emilio Lèbre La Rovere

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

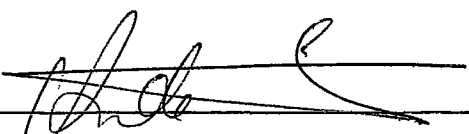
Aprovada por:




Nelson Maculan Filho
(Presidente)



Affonso Carlos Seabra da Silva Telles



Andrea Levy



Ronaldo Cesar Marinho Persiano

RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL

JUNHO DE 1977

LA ROVERE, EMILIO LEBRE

Simulação de Cenários Alternativos para a Evolução do
Setor Energético Brasileiro Rio de Janeiro 1977.

IX, 108 p. 29,7cm (COPPE-UFRJ, M.Sc., Engenharia de
Sistemas e Computação, 1977)

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro . Fac. Engenharia

I. Planejamento Energético I. COPPE/UFRJ

II. Título (série)

"On s'imagine que l'équité et la consommation d'énergie pourraient croître ensemble. Victimes de cette illusion, les hommes industrialisés ne posent pas la moindre limite à la croissance de la consommation d'énergie, et cette croissance se continue à seule fin de pourvoir toujours plus de gens des produits d'une industrie contrôlée par toujours moins de gens.

Si l'on ne détruit pas l'illusion que plus d'énergie, c'est mieux, on ne pourra résoudre la crise de l'énergie".

(Ivan Illich : Énergie et Équité)

A meus pais

Regina e Ruggiero La Rovere

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Andrea Levy que como orientador deu-me as bases fundamentais da sua intuição e como amigo ajudou e cooperou desde as fases iniciais até o fim deste trabalho.

Ao Prof. Nelson Maculan Filho por seu incentivo e valiosas sugestões, e pelo encorajamento de seu exemplo, quanto ao posicionamento crítico do pesquisador na aplicação de seus conhecimentos à realidade brasileira.

Aos meus companheiros do Grupo de Energia da FINEP, por muitas conversas estimulantes e úteis.

Ao Dr. Affonso Telles e ao Dr. Paulo Roberto Krahe pelas demonstrações de apoio e interesse e pela compreensão que criou condições necessárias ao desenvolvimento deste estudo.

A Ana Maria Accurso pela grande eficiência de seu trabalho de datilografia, fator fundamental para a apresentação desta pesquisa no prazo desejado.

RESUMO

A formulação e o estudo de cenários para o fechamento do balanço energético nacional fornecem subsídios para a avaliação das alternativas de introdução das formas não convencionais de energia no setor energético brasileiro.

Um modelo matemático de simulação foi utilizado para representar o setor energético, permitindo equacionar os fluxos e perdas da energia, desde suas fontes primárias até os mercados de consumo.

A análise das simulações induziu uma discussão preliminar sobre a elaboração de critérios globais de planejamento para o setor energético, sendo recomendada a realização de alguns estudos específicos nesse sentido.

ABSTRACT

Alternative scenarios for the evolution of the Brazilian energy sector are formulated in order to make an assessment of the introduction of non-conventional energy sources in the system.

A mathematical model was built to represent the national energy sector, accounting for energy fluxes and losses from the primary sources till the consumer markets.

The analysis of the simulated alternatives led to a preliminary discussion about energy planning criteria. Some new studies on the field are suggested.

RESUMÉ

La définition et l'étude de scénarios du bilan énergétique brésilien fournissent les subsides à la comparaison des alternatives permettant l'introduction de chaînes non-conventionnelles d'énergie dans le secteur.

Un modèle mathématique a été utilisé pour représenter le secteur énergétique, basé sur l'équationnement des flux et pertes depuis les sources primaires jusqu'aux marchés de consommation de l'énergie.

L'analyse des simulations a induit une discussion préliminaire sur l'élaboration de critères globaux pour la planification du secteur énergétique, recommandant la réalisation d'études spécifiques dans ce sens.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	- INTRODUÇÃO	
I.1	- O Problema de Planejamento Energético	1
I.2	- Histórico	2
I.3	- Plano da Exposição	4
CAPÍTULO II	- DEFINIÇÃO DO MODELO	
II.1	- Características do Setor Energético	5
II.2	- Modelagem e Planejamento Energético	9
II.3	- Dados sobre o Caso Brasileiro	12
II.4	- Caracterização do Modelo Adotado	14
CAPÍTULO III	- DESCRIÇÃO DO MODELO	
III.1	- Representação do Setor Energético	17
III.2	- Equacionamento	23
CAPÍTULO IV	- APRESENTAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS	
IV.1	- Cenário-base	26
IV.2	- Cenários Alternativos	30
IV.2.1	- Hipóteses e Resultados	30
IV.2.2	- Análise de Investimentos	40
CAPÍTULO V	- DISCUSSÃO DOS CENÁRIOS	
V.1	- Cenário-base	
V.1.1	- Discussão das Hipóteses	49
V.1.2	- Discussão dos Resultados	51
V.2	- Cenários Alternativos	
V.2.1	- Discussão das Hipóteses	56
V.2.2	- Discussão dos Resultados	57
CAPÍTULO VI	- CONCLUSÕES	
VI.1	- Validade	62
VI.2	- Limitações	64
VI.3	- Subsídios para formulação de uma política e energética - Perspectivas	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
Apêndice 1	- A Conservação do Fluxo de Energia no Modelo ...	72

Apêndice 2 - Utilização das Equações do Modelo na Simulação de Cenários	75
Apêndice 3 - Compatibilização dos Dados e Apresentação do Cenário-base para 1985	82
Apêndice 4 - Implementação do Modelo em Computador	90
Apêndice 5 - Listagem de Hipóteses e Resultados da Introdução de Formas Não Convencionais no Setor Energético Brasileiro	92

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

I.1 - O Problema de Planejamento Energético

A atividade de planejamento se caracteriza pela avaliação de linhas de ação alternativas, com vistas à tomada de decisões adequadas à consecução do objetivo definido pelo sujeito do planejamento. O problema com que se defronta o planejador energético é a escolha de uma alternativa, dentre um conjunto de possibilidades, para o atendimento de um dado quadro de necessidades de consumo de energia. São-lhe fornecidos como conhecidos "a priori", e portanto fogem à sua esfera de decisão, os critérios limitantes do conjunto de consumidores que devem ter suas necessidades energéticas atendidas, do conjunto de alternativas consideradas viáveis e também os critérios que fixam a valoração a ser atribuída a cada alternativa, isto é, os objetivos que devem ser perseguidos no processo de seleção da alternativa a ser adotada. Assim, cabe-lhe apenas o papel de: caracterizar mais detalhadamente cada alternativa de política energética a ser considerada viável, e o quadro de necessidades energéticas a serem atendidas, através da quantificação das variáveis envolvidas; e aplicar um método de resolução capaz de selecionar, como resultado de hipóteses introduzidas "a priori", a alternativa mais adequada, segundo os critérios de mérito previamente definidos.

A ideologia do sujeito da atividade de planejamento determina quais os objetivos que devem ser perseguidos e influencia a escolha dos meios para alcançá-los (ver Godelier¹). Daí a importância assumida pelo contexto em que o planejador está inserido, como condicionante primeiro da forma de ataque ao problema objeto de estudo. Na realização deste trabalho, a intenção do autor foi atender a uma necessidade definida do grupo de estudos sobre energia da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP. Encontra-se a seguir uma apresentação da forma de atuação desse grupo diante da realidade nacional do setor de energia, e das condições a que devia atender a concepção deste estudo.

I.2 - Histórico

A política energética do governo brasileiro vem sendo orientada no sentido de procurar diminuir a dependência externa no setor, seja pelo aumento da produção de petróleo, seja pela poupança de energia, seja ainda incrementando a oferta de fontes alternativas internas. É nestas duas últimas direções que a FINEP, Órgão da Secretaria de Planejamento da Presidência da República para fomento ao desenvolvimento tecnológico, vem atuando desde 1974, através da implantação de programas de estudos e pesquisas sobre conservação de energia e sobre formas energéticas alternativas, ditas não convencionais, passíveis de utilização a curto, médio ou longo prazo.

Cada programa consiste em um conjunto de projetos de pesquisa e desenvolvimento de protótipos e em estudos da viabilidade técnico-econômica das alternativas tecnológicas consideradas, a cargo de grupos de pesquisadores em universidades, institutos de pesquisa e empresas, recebendo apoio financeiro e técnico da FINEP.

Assim, no decorrer dos últimos tres anos, foram acumulados pelo grupo de energia da FINEP conhecimentos sobre aplicações específicas do aproveitamento da energia solar, da utilização do carvão nacional, do uso de hidrogênio eletrolítico e do aproveitamento de matéria de origem orgânica - biomassa, entre outras (ver FINEP²). Por oposição, o grupo se ressentia da falta de uma visão global do setor energético brasileiro, que permitisse definir a importância relativa e o alcance das diversas formas energéticas não convencionais e medidas de conservação de energia, no atendimento ao quadro nacional de necessidades de consumo energético. Essas noções são fundamentais para o estudo pelo grupo da passagem, em cada caso, do nível de protótipo à produção em larga escala. Para medir o alcance e a importância relativa de cada alternativa tecnológica considerada, é preciso avaliar seus benefícios e custos, definidos a partir dos critérios de mérito estabelecidos "a priori".

Assim, o objetivo deste trabalho foi o de fornecer um instrumento quantitativo que ajudasse a suprir essa necessidade, a

través da elaboração de um modelo matemático para representar, de forma esquemática e simplificada, a configuração geral do setor energético e a introdução de formas alternativas de energia no setor. Dada a complexidade da realidade do setor energético, o escopo do estudo foi limitado de modo a permitir que esse instrumento entrasse rapidamente em funcionamento, para avaliar, com base nos resultados preliminares obtidos, as perspectivas de ampliação do âmbito do trabalho. Nessa primeira etapa do estudo, quanto aos critérios fornecidos "a priori" ao planejador, mencionados na seção anterior (I.1), as condições impostas foram:

- a) caracterização das necessidades energéticas a serem atendidas através do quadro de consumo energético nacional considerado pelo planejamento governamental
- b) determinação da viabilidade de cada alternativa de atendimento às necessidades energéticas, através de fatores técnicos e da limitação do total de investimentos envolvidos.
- c) avaliação do mérito das alternativas consideradas viáveis, pelo nível de auto-suficiência energética e dos investimentos correspondentes.

Uma vez caracterizado o contexto que deu origem à realização deste trabalho, apresenta-se a seguir o plano de exposição adotado na redação do texto.

I.3 - Plano da Exposição.

O Capítulo II apresenta o estudo desenvolvido para a escolha do modelo matemático que veio a ser adotado. A partir da análise do estado da arte de modelagem dos sistemas energéticos, e dos dados sobre o caso brasileiro, chega-se à caracterização dos requisitos a serem atendidos pelo modelo matemático, para que seja adequado ao tipo de utilização desejada, ao sistema em estudo e aos dados existentes.

No Capítulo III, vem as hipóteses e equações que constituem o modelo de simulação de cenários alternativos - M.S.C.A. É fornecido um exemplo, ilustrando a representação adotada para o setor energético no M.S.C.A.

O Capítulo IV mostra as experiências realizadas, que consistem na formulação de cenários, de dois tipos, para o fechamento do balanço energético nacional: um cenário-base e diversas alternativas de introdução de formas não convencionais no setor energético brasileiro. Em cada caso apresenta-se a metodologia adotada na realização do teste, as hipóteses assumidas e os resultados obtidos.

No Capítulo V, discute-se então as hipóteses e os resultados de cada teste, surgindo a partir dessa análise as críticas e conclusões do trabalho, bem como as sugestões para o seu prosseguimento.

Finalmente, o Capítulo VI avalia a validade e as limitações do estudo, e apresenta um resumo das suas principais conclusões e das linhas de atuação abertas para o seu prosseguimento.

Com o objetivo de facilitar a leitura do texto principal, a manipulação de equações matemáticas e listagens extensas de hipóteses e resultados são apresentadas em cinco apêndices, reunidos ao final do trabalho.

CAPITULO II

DEFINIÇÃO DO MODELO

II.1 - Características do Setor Energético

Define-se energia através do conceito físico de trabalho: energia é a capacidade de realizar trabalho. Na natureza, o sol, o calor da Terra, o átomo e a força muscular são alguns exemplos de fontes de energia. Essas fontes primárias se transformam em outras formas de energia, de acordo com a diversidade dos fenômenos físicos de realização de trabalho. Para cada fonte, existe uma cadeia de captação, transporte, armazenamento, transformação em formas intermediárias, distribuição e finalmente consumo, na forma adequada para uso do Homem, da energia, envolvendo perdas ao longo de todo o processo.

A homogeneidade matéria-energia permite conceber toda atividade econômica do Homem como esse tipo de processo, de apropriação e transformação das formas de energia encontradas na natureza, para sua utilização. Segundo essa visão global, o "setor energético" abrangeria toda a economia. É importante esclarecer portanto que a noção de setor energético, no sentido comumente usado, pressupõe uma distinção entre usos "energéticos" e "não energéticos" das formas de energia pelo Homem, nem sempre claramente estabelecida. Neste trabalho será usada a conceituação de uso energético como o consumo de energia elétrica e das diversas formas de energia mecânica e de energia térmica, segundo os critérios do Comitê Nacional Brasileiro (ver CNB³) e do Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia (ver MME⁴), sendo o uso das formas de energia como matéria-prima considerado não energético. Esta escolha decorreu da limitação imposta, nessa primeira etapa, ao escopo do estudo, que não deveria abranger toda atividade econômica da sociedade. Portanto, não se julgou necessário adotar uma metodologia tão geral como, por exemplo, a proposta por Barrera⁵, que usa o conceito termodinâmico de energia como denominador comum para medir quantidades de bens e mercadorias, trabalho humano, efeitos sobre o meio ambiente etc.

Ainda assim, na sua concepção mais restrita, o setor energético é de importância vital para sociedades em processo de industrialização, cada vez mais dependentes da disponibilidade de energia, e seu planejamento global torna-se extremamente complexo, devido aos seguintes fatores, entre outros:

a) Grande intercambiabilidade entre diversas formas de energia. De um modo geral, uma dada necessidade de uso final pode ser atendida por mais de uma forma energética; por exemplo, o aquecimento de água no setor doméstico pode ser realizado por meio de eletricidade, de energia solar e de gás obtido a partir da nafta (derivado de petróleo) ou de carvão mineral. Este fato acarreta um grande número de direções em que é necessário um esforço de pesquisa e desenvolvimento.

b) Inércia a alterações bruscas.

Em oposição ao primeiro fator está a inércia do setor em relação a alterações bruscas, no contexto das economias de mercado. Isto se deve aos enormes investimentos envolvidos nas transformações sofridas pela energia em cada estágio da cadeia que vai da captação à utilização final.

c) Esgotamento dos recursos não renováveis.

A distinção entre recursos energéticos renováveis e não renováveis baseia-se na relação entre o ritmo do consumo pelo Homem desses recursos e a velocidade com que as fontes energéticas primárias da natureza os reproduzem, pela sua transformação. Assim, os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão), cujo processo de formação é da ordem de milhões de anos, são recursos tipicamente não renováveis, enquanto as energias solar, eólica, maremotriz, hidroelétrica são formas renováveis. Observe-se que, no caso da lenha, as duas classificações podem se verificar, dependendo do ritmo de exploração respeitar ou não o período necessário para o reflorestamento.

Alguns autores (Pestel e Mesarovic⁶, Dumont⁷, entre outros) estimam que, persistindo as taxas atuais e a forma exponencial de crescimento do consumo de energia, as reservas mundiais de petróleo deverão estar esgotadas no prazo de 25 a 50 anos. Este fato é particularmente grave diante da constata-

ção que:

- i) o baixo preço do petróleo, até a criação da OPEP, favoreceu uma "monocultura tecnológica", levando a sociedade mundial a uma situação de extrema dependência desse combustível para o atendimento das suas necessidades de energia térmica e mecânica.
- ii) a transição para o uso de outras formas de energia, ao nível necessário para a substituição do consumo de petróleo, deverá requerer um período da ordem de 20 a 30 anos (segundo Manne⁸), devido à inércia do setor energético, citada anteriormente.

Deve-se ressaltar, porém, que existe grande controvérsia a respeito da possibilidade de esgotamento dos recursos não renováveis. Por exemplo, o grupo da Fundación Bariloche⁹ conclui que as reservas mundiais de petróleo devem durar cerca de 100 anos, lembrando que a quantidade utilizável dos recursos não renováveis depende essencialmente de quanto a sociedade está disposta a pagar na sua exploração.

d) Impacto sobre o meio ambiente.

Em todas as etapas da cadeia que vai da captação à utilização da energia, ocorrem processos que podem contribuir para a degradação do meio ambiente (ver Energia e Meio Ambiente¹⁰). Esse problema vem criando obstáculos cada vez maiores para, por exemplo, a instalação de usinas nucleares, a extração de carvão, a construção de hidroelétricas, de refinarias de petróleo e para o uso de automóveis, em consequência da produção de resíduos radioativos, inundação de terras, emissão de monóxido de carbono na atmosfera, etc. Existe assim uma tensão entre os objetivos de atendimento das necessidades energéticas e de controle da poluição, preservação da natureza e manutenção do equilíbrio ecológico.

A complexidade do setor energético, ilustrada pelos quatro fatores descritos acima, vem propiciando a aplicação da teoria de modelagem de sistemas no equacionamento das variáveis envolvidas no seu planejamento e o uso do computador para processar o grande volume de dados referentes ao setor. Na seção se-

guinte analisa-se o estado da arte de modelagem de sistemas energéticos, com o objetivo de situar a escolha das características do modelo matemático elaborado para representar o caso brasileiro.

II.2 - Modelagem e Planejamento Energético

Um modelo vem a ser uma imagem ou representação, voluntariamente incompleta e simplificada, de um processo, organismo, fenômeno, sociedade, enfim, do objeto de estudo, a que se dá o nome de sistema. Todo sistema tem componentes com certas características ou atributos, constantes ou variáveis, vinculados por relações ou conexões.

Convém distinguir dois níveis de modelo: mental e explícito. Os modelos explícitos podem ser divididos em tres classes: verbais, físicos e matemáticos. Os modelos matemáticos são os que usam a Matemática como linguagem de formalização.

A conceituação apresentada nos dois parágrafos acima, enunciada por Varsavsky¹¹, entre outros, mostra que o uso de modelos matemáticos é simplesmente uma das formas de exprimir o conhecimento adquirido sobre o objeto de estudo. Trata-se de explicitar o modelo mental que se tem de um sistema, através de sua descrição e de uma teoria sobre seu funcionamento (relações causais, sempre hipotéticas, entre seus componentes), usando uma linguagem especialmente criada para facilitar o raciocínio lógico-dedutivo.

Os esforços de construção de modelos matemáticos do sistema energético vem sendo empreendidos por diferentes caminhos, usando quatro principais técnicas de modelagem: otimização, simulação usando parâmetros ajustados econometricamente ou por análise paramétrica e análise "input-output" do quadro geral da economia; (ver Energy Modelling¹³).

a) Modelos de otimização

Uma forma tradicional desse tipo de modelagem do sistema energético é o modelo de programação linear com a função objetiva de minimizar o custo do atendimento, por fontes conhecidas, das demandas de energia estabelecidas. O trabalho desenvolvido por Cherniavsky¹² é um exemplo dos modelos desse tipo, que são úteis para a obtenção de configurações estáticas como metas a serem perseguidas. Não traçam, porém, o caminho

a ser seguido na transição dos níveis correntes da produção de cada fonte aos níveis projetados na configuração ótima. De um modo geral, a crítica que se faz a esses modelos de otimização é o nível de complexidade resultante, causando a descrença do planejador a respeito das respostas deduzidas pelo modelo, pois os resultados ótimos são dominados por pequenas hipóteses sobre os inúmeros coeficientes embutidos numa pesada estrutura.

b) Modelos de Simulação

Os modelos de simulação não usam funções objetivas a serem maximizadas ou minimizadas, mas visam descrever o efeito ao longo do tempo de uma determinada política de atendimento às necessidades energéticas. Outras políticas podem então ser testadas, para análise dos resultados obtidos em comparação ao caso base.

b.1) No caso de modelos que usam parâmetros ajustados economicamente, são feitas previsões dos valores a serem assumidos pelas variáveis do sistema nos anos futuros, através de métodos típicos da Econometria. Assim, os modelos herdam os problemas inerentes a esses métodos: as previsões não incluem a possibilidade de saltos tecnológicos e mudanças estruturais em geral, no sistema. Outra restrição a esses modelos é o grande período de tempo gasto na sua construção, e o exame de grande quantidade de dados da evolução histórica do sistema, para testar a aderência do modelo ao passado.

b.2) Já no caso dos modelos de simulação paramétrica, como o de Baughman¹⁴, não se trata de prever o futuro desenvolvimento do sistema, mas de apresentar cenários correspondentes a hipóteses introduzidas pelo planejador, através da quantificação dos valores desejados para os parâmetros. O maior defeito desses modelos é que não se baseiam em informações firmes. Suas vantagens são a simplicidade e rapidez, a possibilidade de testar um grande número de alternativas de política ou de valores para os parâmetros, e a interação do planejador com o modelo, através da escolha dos valores de entrada desejados e da percepção do impacto de sua varia

ção nos resultados.

c) Modelos de análise "Input-output" do quadro geral da economia

Esses modelos visam descrever os efeitos de mudanças do setor energético na economia como um todo e vice-versa, através da análise "input-output" de Leontief¹⁵ e da representação microeconômica da economia como um todo. De um modo geral, requerem grande número de dados e frequentemente tornam-se de natureza histórica, e não extrapolativa.

A aplicação desses diversos tipos de modelos depende primeiramente da existência de informações, sobre o setor energético como um todo, disponíveis para o planejador. Em diversos países estrangeiros, os dados necessários ao conhecimento detalhado da estrutura do setor são fornecidos pelo levantamento anual do balanço energético nacional (ver, por exemplo, a publicação argentina da Secretaria de Estado de Energia¹⁶). Na próxima seção apresenta-se o exame da situação brasileira na área.

II.3 - Dados sobre o caso brasileiro

No caso brasileiro, o mais importante estudo de modelagem do setor energético foi realizado por um consórcio de firmas consultoras brasileiras, sob a coordenação do MME e do IPEA, no trabalho designado genericamente de Matriz Energética Brasileira - MEB¹⁷. Seu objetivo geral foi o estudo integrado das diversas formas de energia, em âmbito nacional, desde a captação até o consumo final, para fornecer um instrumento de planejamento do setor energético como um todo.

As principais realizações deste projeto, que não chegou a executar a etapa de montagem e operação dos modelos finais desenvolvidos, foram:

- a) o desenvolvimento de uma metodologia para a execução de estudos energéticos integrados, definindo horizontes de planejamento, níveis de desagregação dos setores de oferta e demanda de energia etc., não obstante as dificuldades existentes, como a estanqueidade da política de planejamento entre alguns setores da oferta de energia (eletricidade, petróleo, carvão, gás, energia nuclear, etc.), a deficiência da rede estatística nacional e a resistência à substituição entre formas energéticas.
- b) o mais detalhado, até o momento, levantamento de informações a respeito da estrutura do balanço energético nacional, fornecendo para o ano de 1970 os dados de fluxo da energia, desde suas formas primárias até os mercados de consumo, quantificando a produção, importação, auto-consumo, consumo do setor energético, perdas, variações de estoque, destinação para uso energético e não energético, em cada transformação ao longo da cadeia.

Após 1970, os dados disponíveis sobre o setor energético como um todo se referem apenas ao consumo de energia primária, nas suas diversas formas, apresentados pelo MME⁴, incluindo o consumo verificado anualmente até 1975 e projeções estimativas para o consumo anual até 1985, discriminando a parcela das impor

tações e da produção nacional no total. Essas projeções já incluem previsões sobre a participação de algumas formas alternativas de energia, como o álcool de cana, o xisto e a energia nuclear, que já tiveram decididas a sua implantação.

II.4 - Caracterização do Modelo Adotado

Quanto à elaboração do modelo, dois níveis distintos devem ser considerados: a concepção teórica do setor energético, originada pelo modelo mental que o planejador faz da realidade, e a explicitação matemática dessa concepção, através do equacionamento de relações entre as variáveis envolvidas. A exigência de dados que permitam atribuir valores às variáveis do modelo gera um movimento de vaivém entre os dois níveis: a inexistência de informações necessárias à explicitação matemática de uma concepção teórica inicial obriga a sua reformulação, assim como a obtenção de dados adicionais pode também causar sua modificação. A adaptação dessa concepção teórica inicial aos dados disponíveis reinicia o processo, que se repete até convergir para um ponto de compromisso aceitável entre os dois níveis.

Analogamente se dá a interação entre a elaboração e o uso do modelo: o exercício de sua utilização para os fins que se propunha gera resultados que podem induzir o planejador a modificar o modelo inicial, quando por exemplo sentir necessidade de introduzir novas variáveis, não previstas inicialmente. Esta interação leva a um processo de gradativa sofisticação do modelo matemático, acompanhando a evolução do modelo mental do planejador.

Assim, os condicionantes da ação do planejador influem decisivamente sobre a forma assumida pelo modelo matemático usado. No caso deste trabalho, foi adotado um modelo de simulação paramétrica. As razões dessa escolha e as características do modelo resultante devem então ser analisadas à luz do que foi exposto sobre o contexto em que estava inserido o autor, o que será feito a seguir.

O objetivo de ajudar o planejador a obter uma visão global do setor energético brasileiro indicava a conveniência de um modelo didático, que permitisse uma clara compreensão de seu equacionamento, suas hipóteses e resultados. Assim, optou-se por um modelo simples, a princípio, mas versátil, permitindo sua gradativa sofisticação à medida que essa necessidade fosse sen-

tida pelo planejador. Por outro lado, os dados referentes ao fluxo de energia, através de todo o setor, são conhecidos apenas para o ano de 1970 (ver MEB¹⁷). Para os anos seguintes, até 1985, o Balanço Energético Nacional (MME⁴) fornece somente as estimativas do consumo das formas de energia primária. Fugiria ao escopo do trabalho, proceder ao levantamento de informações mais detalhadas sobre o setor energético como um todo, junto às entidades responsáveis por cada forma de energia, devido à sua grande quantidade e à complexidade da tarefa.

Nessas condições, a ausência de séries históricas completas para os dados de fluxos energéticos não recomendava a adoção de um modelo de simulação usando métodos econométricos para estimação de parâmetros. Modelos de otimização da configuração do setor energético também não eram adequados, devido às características da atuação do grupo da FINEP, que não está vinculado à operação direta dos diversos processamentos da energia envolvidos ao nível do planejamento global do setor, mas é responsável apenas pelo fomento a atividades de pesquisa e desenvolvimento de novas alternativas tecnológicas na área de energia. Além disso, a obtenção de soluções ótimas fugiria ao escopo do trabalho, nessa primeira etapa, pois exigiria a elaboração de estimativas a respeito dos investimentos necessários em cada transformação energética, da captação até o mercado, devido ao fato de não estarem disponíveis dados desse tipo para todo o setor energético. Analogamente, os modelos de análise "input-output" do quadro geral da economia apresentavam o inconveniente da necessidade de estimar e compatibilizar dados, não só sobre o setor energético, mas também para o resto da economia.

Assim, foi escolhido um modelo de simulação usando análise paramétrica, que não visa nem propor soluções ótimas, nem fazer previsões sobre o futuro desenvolvimento do setor, mas testar as hipóteses oriundas das preocupações do planejador. Este interage com o modelo, fornecendo os valores numéricos dos parâmetros que caracterizam uma alternativa viável de atendimento ao quadro de necessidades de consumo energético, em dado ano ou em um período qualquer; e obtendo como resultado um ce-

nário, ou seja, uma configuração do fluxo de energia no setor, desde as formas de energia primária até os diferentes mercados de consumo.

A representação do setor energético pelo modelo baseia-se na divisão em estágios da cadeia que vai da captação até a utilização final da energia. As equações que relacionam os fluxos e as perdas entre as diversas formas de energia, pertencentes a dois estágios consecutivos, são lineares. Os testes realizados com o modelo, na sua versão atual, usam um nível de desagregação compatível com os dados da MEB, projeções e horizonte de planejamento fornecidos pelo MME e dados técnicos e de investimentos, sobre formas alternativas de energia, estimados pela FINEP e por outros órgãos que realizam estudos na área.

É importante ressaltar que, nessa atual versão, o modelo constitui apenas um primeiro passo no sentido da obtenção de um instrumento quantitativo de apoio ao planejador energético. Ele deverá ser ampliado para incluir o processamento de outros dados, que permitam a utilização de outros critérios de mérito no julgamento dos diversos cenários testados, outros quadros de necessidades de consumo energético e outros critérios de viabilidade das alternativas de política. Mais adiante, na discussão dos resultados, essa crítica será retomada. Antes, porém, é importante apresentar de forma detalhada o modelo, o que é feito no capítulo seguinte.

CAPITULO III

DESCRIÇÃO DO MODELO

III.1 - Representação do Setor Energético

O setor energético é representado no modelo por um conjunto ordenado de vetores. Cada vetor corresponde a um estágio da cadeia de captação, transformação e consumo final da energia. O número de vetores ou estágios e a quantidade de elementos que constituem os estágios refletem o grau de desagregação desejado na representação do setor.

A Figura 1 mostra a visualização da representação adotada para o setor energético no Exemplo 1. Trata-se de um caso simplificado, com pequeno número de estágios e de elementos em cada estágio, montado com o objetivo de ilustrar os conceitos expostos. Nesse exemplo, tem-se 5 formas de energia primária, 7 formas de energia secundária e 6 setores de mercado, representando o setor energético brasileiro, usando dados referentes ao ano de 1970 (ver MEB¹⁷).

O modelo associa a quantidade produzida de uma dada forma energética à variável $x(i,j)$, i indicando o estágio e j diferenciando a forma de energia considerada das demais pertencentes ao estágio i . No caso do estágio correspondente a setores de mercado, $x(i,j)$ denota a quantidade de energia consumida em cada setor. É necessário definir um equivalente energético (joule, milhares de toneladas de óleo cru, trilhões de calorias etc) permitindo exprimir essas quantidades na mesma unidade, através do cálculo do fator de conversão correspondente a cada forma de energia. O modelo representa a variação no estoque de uma dada forma de energia através da variável $s(i,j)$, para cada elemento j do estágio i . Os valores de $s(i,j)$, também medidos em equivalente energético, são positivos quando ocorre aumento de estoque, e negativos em caso contrário. Os somatórios, ao longo do mesmo estágio, dos valores das variáveis $x(i,j)$ e $s(i,j)$, são de notados por $X(i)$ e $S(i)$, respectivamente.

FIGURA 1

EXEMPLO 1: Setor Energético Brasileiro
 Ano de 1970
 Valores em 1000 Gcal = 10^{12} cal

ENERGIA PRIMARIA	ENERGIA SECUNDARIA	SETORES DE MERCADO
1) Petróleo Importado $x(1,1) = 196497$ $x(1,1) = -$	1) Derivados de Petróleo $x(2,1) = 241595$ $x(2,1) = 1486$	1) Doméstico $x(3,1) = 198459$
2) Produção de Petróleo $x(1,2) = 86216$ $x(1,2) = -2076$	2) Eletricidade $x(2,2) = 166846$ $x(2,2) = -$	2) Industrial $x(3,2) = 218412$
3) Energia Hídrica $x(1,3) = 145237$ $s(1,3) = -$	3) Lenha $x(2,3) = 200437$ $s(2,3) = -$	3) Transportes $x(3,3) = 140072$
4) Lenha $x(1,4) = 228220$ $s(1,4) = -$	4) Carvão Vegetal $x(2,4) = 16040$ $x(2,4) = -$	4) Exportações $x(3,4) = 14000$
5) Outros $x(1,5) = 103366$ $s(1,5) = -$	5) Coque $x(2,5) = 12682$ $s(2,5) = 270$	5) Usos não energéticos $x(3,5) = 7496$
	6) Bagaço de Cana $x(2,6) = 42872$ $x(2,6) = -$	6) Outros $x(3,6) = 78843$
	7) Outros $x(2,7) = 12817$ $x(2,7) = 1800$	

ESTAGIO 1

$X(1) = 759536$

$S(1) = -2076$

ESTAGIO 2

$X(2) = 693289$

$S(2) = 3556$

ESTAGIO 3

$X(3) = 657282$

Na Figura 1 observa-se que a energia flui do estágio 1 para o estágio 3, ou seja, a energia primária captada sofre transformações até ser consumida nos diversos setores de mercado. Para completar a representação do setor energético, é preciso ainda especificar os fluxos de energia entre os elementos de dois estágios consecutivos, bem como as perdas envolvidas em cada transformação. Isto é feito através das matrizes $F(1)$ e $F(2)$, $P(1)$ e $P(2)$, respectivamente, mostradas no Quadro 1. A quantidade de energia na forma j do estágio i que se transforma na forma k do estágio $i + 1$ é representada por $f(i,j,k)$, ou seja, o elemento da j -ésima linha é k -ésima coluna, na matriz $F(i)$, enquanto o valor das perdas envolvidas nessa transformação (incluindo também o auto consumo e o consumo do setor energético) é dado por $p(i,j,k)$, isto é, o elemento correspondente na matriz $P(i)$.

O exame criterioso do exemplo dado fornece outras características do modelo, entre elas:

- a) quando não ocorre nenhuma transformação, a forma de energia é repetida no estágio seguinte, como a lenha nos estágios 1 e 2, pois a modelagem utilizada prevê fluxos de energia apenas entre elementos de estágios consecutivos.
- b) a parcela dos derivados de petróleo queimada para produção de energia elétrica não aparece no total produzido de derivados de petróleo (estágio 2), sendo representada através da transformação petróleo-eletricidade; esta não é uma característica geral, sendo consequência do nível de agregação estabelecido no Exemplo 1, que se utiliza de apenas tres estágios para representar o setor energético, mas ilustra o fato de que o modelo não prevê fluxos de energia entre elementos do mesmo estágio.
- c) os usos não energéticos das diversas formas de energia secundária constituem um setor de mercado em separado, representando o consumo como matéria prima de derivados de petróleo, bagaço de cana, carvão vegetal e demais produtos obtidos a partir das fontes primárias de energia.

QUADRO 1

Valores em 1000 Gcal = 10¹² cal

DE	PARA	DERIVADOS	ELETRI-	LENHA	CARVÃO	COQUE	BAGAÇO	OUTROS	TOTAIS
		DE PETRÓ- LEO	CIDADE		VEGETAL		DE CANA		(fluxo + perdas)
Petróleo Importado	Fluxo	172 208	-	-	-	-	-	1 054	196 497
	Perdas	23 235	-	-	-	-	-	-	
Produção de Petróleo	Fluxo	66 717	13 895	-	-	-	-	-	88 292
	Perdas	9 002	- 1 322	-	-	-	-	-	
Energia Hídrica	Fluxo	-	144 502	-	-	-	-	735	145 237
	Perdas	-	-	-	-	-	-	-	
Lenha	Fluxo	-	405	200 437	16 040	-	-	-	228 220
	Perdas	-	334	-	11 004	-	-	-	
Outros	Fluxo	2 670	8 044	-	-	12 682	42 872	11 028	103 366
	Perdas	-	208	-	-	2 074	-	23 788	
TOTAIS (fluxo)		241 595	166 846	200 437	16 040	12 682	42 872	12 817	

EXEMPLO 1: Matrizes de fluxo - F(1) - e de perdas - P(1)

QUADRO 1 (cont.)

Valores em 1000Gcal = 10¹² cal

DE	PARA	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL	TRANSPORTES	EXPORTAÇÕES	USOS NÃO ENERGÉTICOS	OUTROS	TOTAIS (fluxo + perdas)
Derivados de Petróleo	Fluxo Perdas	19 875 -	58 675 -	136 082 -	13 925 -	816 -	10 736 -	240 109
Eleticidade	Fluxo Perdas	29 821 7 205	68 840 16 631	3 553 858	75 -	- -	32 106 7 757	166 846
Lenha	Fluxo Perdas	144 173 -	26 065 -	253 -	- -	- -	29 946 -	200 437
Carvão Vegetal	Fluxo Perdas	3 438 -	11 738 -	- -	- -	727 -	137 -	16 040
Coque	Fluxo Perdas	- -	12 354 -	14 -	- -	44 -	- -	12 412
Bagaço de Cana	Fluxo Perdas	- -	31 259 -	- -	- -	5 909 -	5 704 -	42 872
Outros	Fluxo Perdas	1 152 -	9 481 -	170 -	- -	- -	214 -	11 017
TOTAIS	(fluxo)	198 459	218 412	140 072	14 000	7 496	78 843	

EXEMPLO 1: Matrizes de fluxo - F(2)
e de perdas - P(2)

Finalmente, cabe lembrar que a Figura 1 e o Quadro 1 configuram um cenário do setor energético para um dado período de tempo. No caso do Exemplo 1, trata-se do ano de 1970, mas o sistema é dinâmico, a configuração vai evoluindo ao longo do tempo.

III.2 - Equacionamento

As equações que compõem o modelo de simulação de cenários alternativos para a evolução do setor energético brasileiro (M.S.C.A.), na sua atual versão, são lineares, traduzindo as relações entre as variáveis associadas a elementos de dois estágios consecutivos. Dois tipos básicos de equação descrevem essas relações: as equações para fechamento de balanço e as equações para cálculo de coeficientes técnicos.

As duas equações fundamentais para fechamento do balanço são apresentadas a seguir:

$$(I) \quad x(i,j) = s(i,j) + \sum_{k=1}^{m(i+1)} (f(i,j,k) + p(i,j,k))$$

para $j = \overline{1, m(i)}$ e $i = \overline{1, N-1}$

$$(II) \quad x(i+1,k) = \sum_{j=1}^{m(i)} f(i,j,k)$$

para $k = \overline{1, m(i+1)}$ e $i = \overline{1, N-1}$

onde:

$m(i)$ = número de elementos no estágio i

(no Exemplo 1, $m(1) = 5$, $m(2) = 7$, $m(3) = 6$)

N = número de estágios (no Exemplo 1, $N=3$)

A conservação da energia, que flui a partir de um elemento qualquer para os elementos do estágio posterior, é traduzida pela equação (I): a quantidade de energia produzida da forma considerada, é igual à variação de seu estoque, mais o total que foi transformado nas formas de energia do estágio seguinte, mais a soma das perdas envolvidas nessas transformações.

No Exemplo 1, apresentado na seção anterior, para ilustrar a conservação da energia gerada sob a forma de produção interna de petróleo, a equação (I) fica:

$$x(1,2) = s(1,2) + \sum_{k=1}^7 (f(1,2,k) + p(1,2,k))$$

Da Figura 1 e do Quadro 1 tem-se:

$$86\ 216 = - 2\ 076 + 88\ 292$$

Analogamente, a conservação da energia que flui para um elemento qualquer, a partir dos elementos do estágio anterior, é traduzida pela equação (II): a quantidade de energia transformada na forma considerada (ou o total da energia consumida no setor de mercado considerado), é igual ao total das contribuições das formas de energia do estágio anterior.

No Exemplo 1, para ilustrar a conservação da energia que se transforma em eletricidade, a equação (II) fica:

$$x(2,2) = \sum_{j=1}^5 f(1,j,2)$$

Da Figura 1 e do Quadro 1 tem-se:

$$166\ 846 = 13\ 895 + 144\ 502 + 405 + 8\ 044$$

A dedução (e aplicação ao caso do Exemplo 1) de outras equações, obtidas a partir dessas duas equações fundamentais, é apresentada no Apêndice 1, com o objetivo de ilustrar mais algumas características do M.S.C.A.

As equações para cálculo de coeficientes técnicos definem tres tipos de coeficiente, de eficiência, de participação pelo lado da saída e de participação pelo lado da entrada, que são particularmente úteis, como será visto mais adiante, na realização de testes de simulação:

$$(III) \quad a(i,j,k) = \frac{f(i,j,k)}{f(i,j,k) + p(i,j,k)}$$

$$(IV) \quad b(i,j,k) = \frac{f(i,j,k) + p(i,j,k)}{x(i,j) - s(i,j)}$$

$$(V) \quad c(i,j,k) = \frac{f(k,j,k)}{x(i+1,k)}$$

$$\text{para } i = \overline{1, N-1} ; \quad j = \overline{1, m(i)} ; \quad k = \overline{1, m(i+1)}$$

O primeiro coeficiente mede a eficiência da transformação

de uma dada forma de energia em outra, do estágio seguinte. No Exemplo 1, a eficiência da transformação de lenha em carvão vegetal é dada por:

$$a(1,4,4) = \frac{f(1,4,4)}{f(1,4,4) + p(1,4,4)} = \frac{16\ 040}{16\ 040 + 11\ 004} = 0,59$$

O coeficiente de participação pelo lado da saída mede a participação de um dado elemento no total do fluxo de energia que sai de um elemento do estágio anterior. No caso do Exemplo 1, 57% dos derivados de petróleo foram alocados ao setor de transportes, pois:

$$b(2,1,3) = \frac{f(2,1,3) + p(2,1,3)}{x(2,1) + s(2,1)} = \frac{136\ 082 + 0}{241\ 595 + 1486} = 0,57$$

Analogamente, o coeficiente de participação pelo lado da entrada mede a participação de uma dada forma de energia na composição da quantidade de um elemento do estágio posterior. Assim, no Exemplo 1 o coeficiente $c(1,3,2)$ indica que 87% da eletricidade foi gerada a partir de energia hídrica, pois:

$$c(1,3,2) = \frac{f(1,3,2)}{x(2,2)} = \frac{144\ 502}{166\ 846} = 0,87$$

A aplicação desses tres tipos de coeficiente na realização de testes de simulação será esclarecida no capítulo seguinte, à medida que os cenários obtidos na simulação forem sendo apresentados.

CAPITULO IVAPRESENTAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS

IV.1 - Cenário - base

A simulação, através do M.S.C.A., de um cenário para a evolução do setor energético, em dado período de tempo, consiste na construção de uma configuração de valores a serem assumidos pelas variáveis associadas à representação adotada para o setor energético, com base em hipóteses introduzidas pelo planejador.

O primeiro tipo de cenário foi simulado com o objetivo de fornecer uma configuração de referência para comparação entre os cenários alternativos a serem testados. Nesse cenário-base, o setor energético brasileiro foi representado por um conjunto de 5 estágios, descrevendo a cadeia de captação, transformação e consumo final da energia, como mostra a Figura 2. O número de estágios e de elementos em cada estágio baseou-se no nível de desagregação dos dados da MEB e no número de formas não convencionais de energia cuja introdução no setor se desejava testar. Assim, a partir dos dados da MEB sobre variações de estoques, fluxos e perdas de energia, correspondentes a cada elemento dos estágios definidos na representação adotada para o setor energético brasileiro, pôde ser construída a configuração do cenário-base para o ano de 1970. Isto permitiu o cálculo dos coeficientes de eficiência e de participação usados no M.S.C.A., relativos a esse ano.

Para a simulação da evolução do cenário-base em anos posteriores, foram usadas as estimativas, fornecidas pelo MME até o ano de 1985, do consumo anual das diversas formas de energia primária e da participação das importações no seu total. Porém, esses dados permitiram a atribuição de valores para as variáveis associadas aos elementos do segundo estágio, apenas. A obtenção da configuração completa de todo o setor energético foi possível a partir da elaboração de estimativas para os valores dos coeficientes técnicos definidos no M.S.C.A., ao longo de todos os estágios e de todos os anos até 1985: usando essas estimativas, a manipulação das equações fundamentais do M.S.C.A. (ver e

FIGURA 2

Nível de Desagregação na Representação do Setor Energético Brasileiro

ESTÁGIO 1	ESTÁGIO 2	ESTÁGIO 3	ESTÁGIO 4	ESTÁGIO 5
Energia Primária	Transformação de Energia Primária	Energia Secundária	Categorias de Demanda	Setores de Mercado
Importação de Petróleo	Carvão Vegetal	Coque	Gás de Cidade	Doméstico Rural
Produção de Petróleo	Carvão Metalúrgico	Óleo Combustível	Energia Elétrica	Doméstico Urbano
Energia Hidrica	Derivados de Petróleo	Óleo Diesel	Gasolina Automotiva	Transporte Rodoviário
Lenha	Carvão Vapor	Nafta	Óleo Diesel	Siderurgia de Ferro e Aço
Carvão Mineral	Bagaço de Cana	Energia Elétrica	Óleo Combustível	Indústria de Açúcar e Alcool

m(1) = 27
elementos

m(2) = 23
elementos

m(3) = 33
elementos

m(4) = 33
elementos

m(5) = 45
elementos

N = 5 estágios

Obs.: Os elementos que aparecem em cada estágio foram selecionados arbitrariamente, a título de ilustração.

quações (I) a (V) na seção III.2) permitiu, então, determinar os fluxos e as perdas de energia, e os valores das variáveis associadas aos elementos de todos os demais estágios (ver Figura 3). No Apêndice 2 pode ser encontrada a demonstração detalhada desse procedimento, bem como uma discussão geral a respeito da utilização das equações do M.S.C.A. na construção de cenários.

As estimativas para os valores dos coeficientes técnicos, até o ano de 1985, foram:

- i) para os coeficientes de eficiência e a maioria dos coeficientes de participação, foi mantido constante, ao longo do tempo, o valor calculado para o ano de 1970, através dos dados da MEB.
- ii) apenas alguns coeficientes de participação, relativos a importação e produção nacional de diversas formas de energia primária, tiveram diferentes valores estimados para cada ano, usando-se os dados do MME.

A discussão sobre o efeito das hipóteses assumidas na elaboração do cenário-base é apresentada mais adiante, na seção V.1. A configuração resultante para o cenário-base, no ano de 1985, encontra-se no Apêndice 3, juntamente com a descrição do procedimento adotado na compatibilização dos dados das duas diferentes fontes usadas (MEB¹⁷ e MME⁴). A obtenção da configuração completa do cenário-base, de 1970 a 1985, foi realizada através da implementação em computador do M.S.C.A., para facilitar o processamento do grande volume de dados envolvidos, em decorrência do nível de desagregação da representação adotada para o setor energético brasileiro. O Apêndice 4 apresenta algumas considerações sobre o programa de computador elaborado.

FIGURA 3

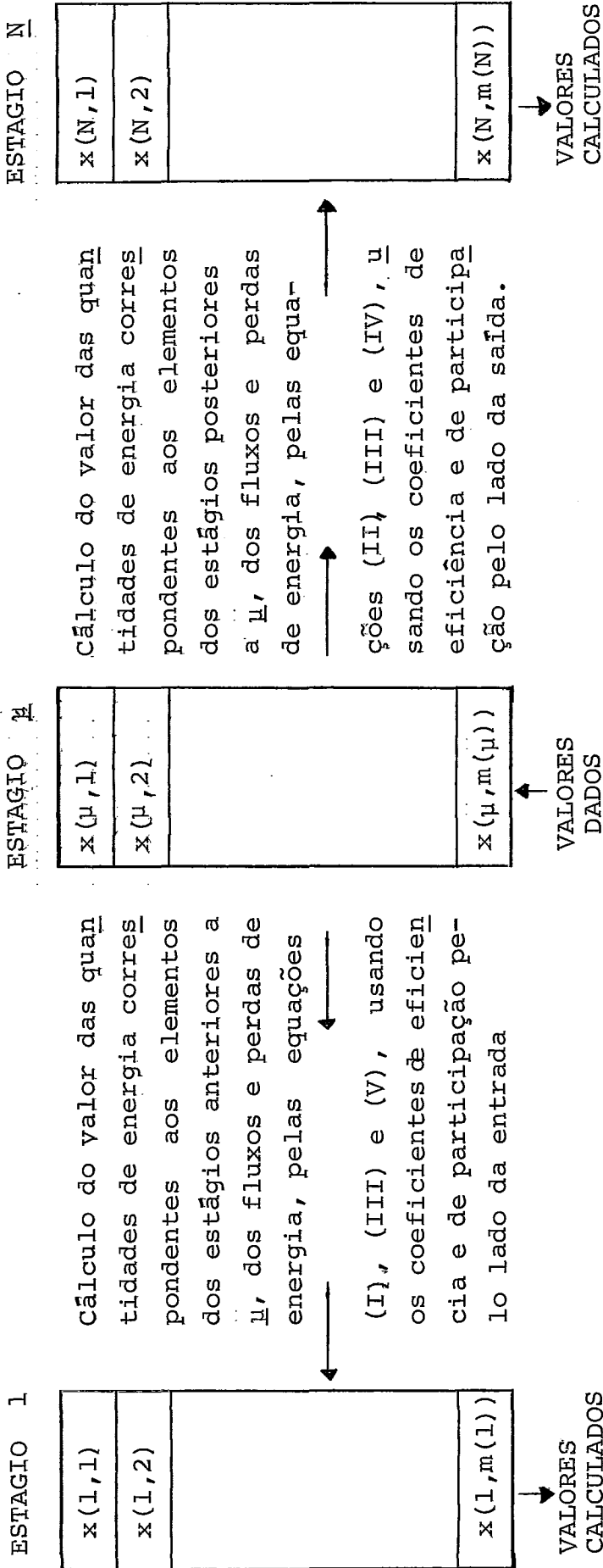


Ilustração do processo de obtenção dos valores para as variáveis de \underline{x} , \underline{f} e \underline{p} ao longo de todos os estágios, a partir do conhecimento dos valores de \underline{x} num estágio qualquer $\underline{\mu}$ e dos coeficientes técnicos \underline{a} , \underline{b} e \underline{c} ao longo de todos os estágios (assumindo-se ainda valores nulos para a variável \underline{s} , variação dos estoques)

IV.2 - Cenários Alternativos

IV.2.1 - Hipóteses e Resultados

O M.S.C.A. pode ser usado para simular os mais variados tipos de cenário, apresentando-se como o prolongamento do raciocínio do planejador que o utiliza. De acordo com o objetivo deste trabalho, os cenários alternativos para a evolução do setor energético brasileiro foram construídos a partir da introdução de formas não convencionais de energia no setor. Entende-se aqui, como não convencionais, as formas energéticas que não participam da configuração atual do setor e que não tiveram sua implementação futura já decidida. Assim, não fazem parte desse grupo o álcool de cana, o xisto e a energia nuclear, que aparecem no cenário-base, segundo estimativas realizadas pelo MME.

Os efeitos da introdução de novas formas de energia no panorama do setor energético brasileiro foram analisados segundo dois aspectos:

- i) efeitos causados por uma dada evolução, ano a ano, na oferta de energia sob forma não convencional.
- ii) efeitos causados pelo atendimento de uma dada parcela das necessidades energéticas de um mercado consumidor, a cada ano, através de formas não convencionais de energia.

Esses dois aspectos correspondem a dois diferentes tipos de cenário:

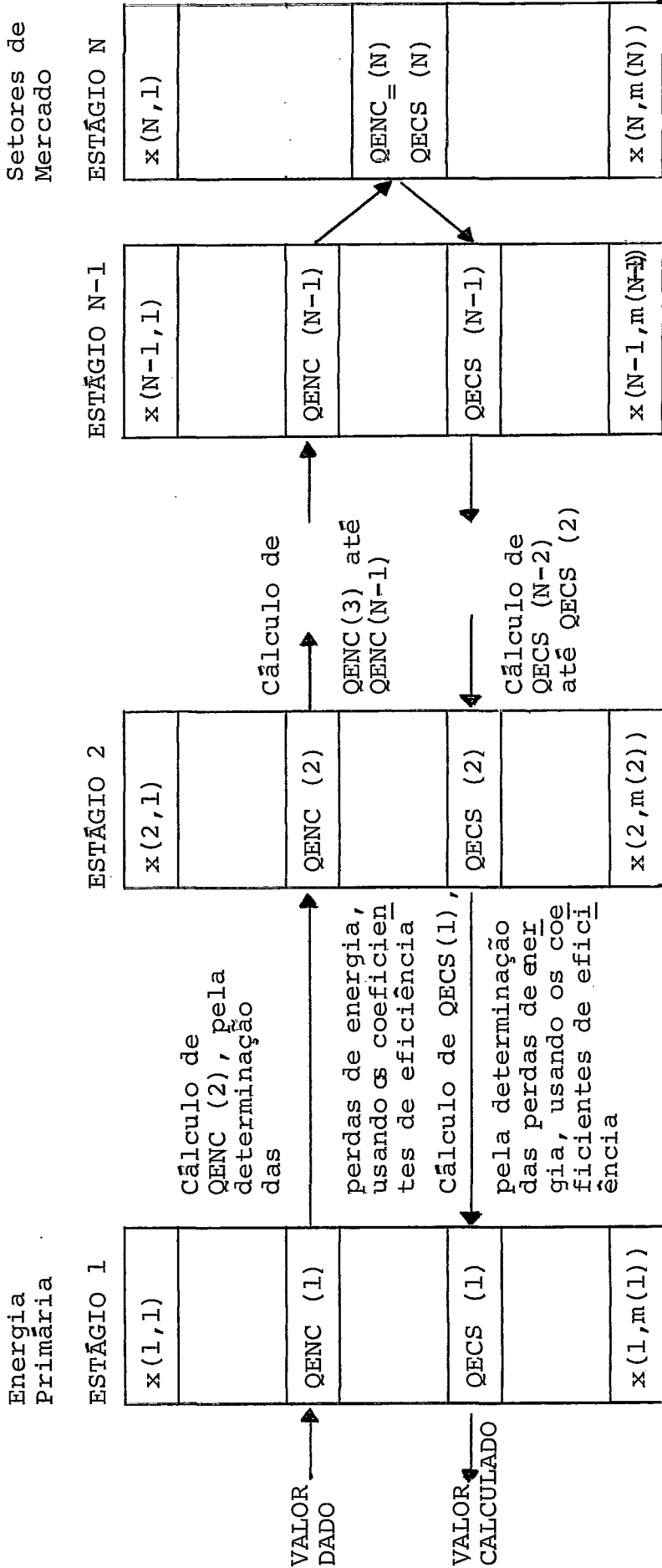
- 1) Cenários construídos a partir da oferta de energia sob forma não convencional.

A Figura 4 mostra como esse tipo de cenário pode ser simulado através do M.S.C.A.:

- a) a quantidade ofertada de energia primária sob forma não convencional, que se deseja testar, é introduzida no elemento correspondente do primeiro estágio.
- b) estabelece-se a cadeia de transformações que deve sofrer essa forma não convencional de energia primária, até o setor de mercado a que se destina; usando as estimativas para os coeficientes de eficiência, determina-se as perdas

FIGURA 4

Ilustração da construção de cenários a partir da oferta de energia sob forma não convencional



$QENC(i)$ = quantidade de energia sob forma não convencional introduzida no estágio i

$QECS(i)$ = quantidade de energia "convencional" substituída no estágio i

Dados: $QENC(1)$ e coeficientes de eficiência ao longo dos dois caminhos (cadeias de transferência das formas energéticas não convencionais introduzidas e das formas "convencionais" substituídas)

de energia ocorridas ao longo dessa cadeia e obtém-se a quantidade de energia, sob uma forma "convencional", a ser substituída no setor de mercado considerado.

c) escolhidas as formas energéticas que devem ser substituídas em cada estágio, o uso dos coeficientes de eficiência permite calcular a quantidade substituída de cada uma delas, percorrendo o caminho traçado a partir do setor de mercado considerado até a captação de energia primária.

2) Cenários construídos a partir da demanda de energia sob forma não convencional.

A Figura 5 ilustra o procedimento adotado na construção de cenários desse segundo tipo:

a) estima-se a parcela das necessidades energéticas de um da do setor de mercado, que deve ser atendida pela introdução de uma forma energética não convencional, caracterizando a quantidade de energia, no último estágio, cuja substituição se deseja testar.

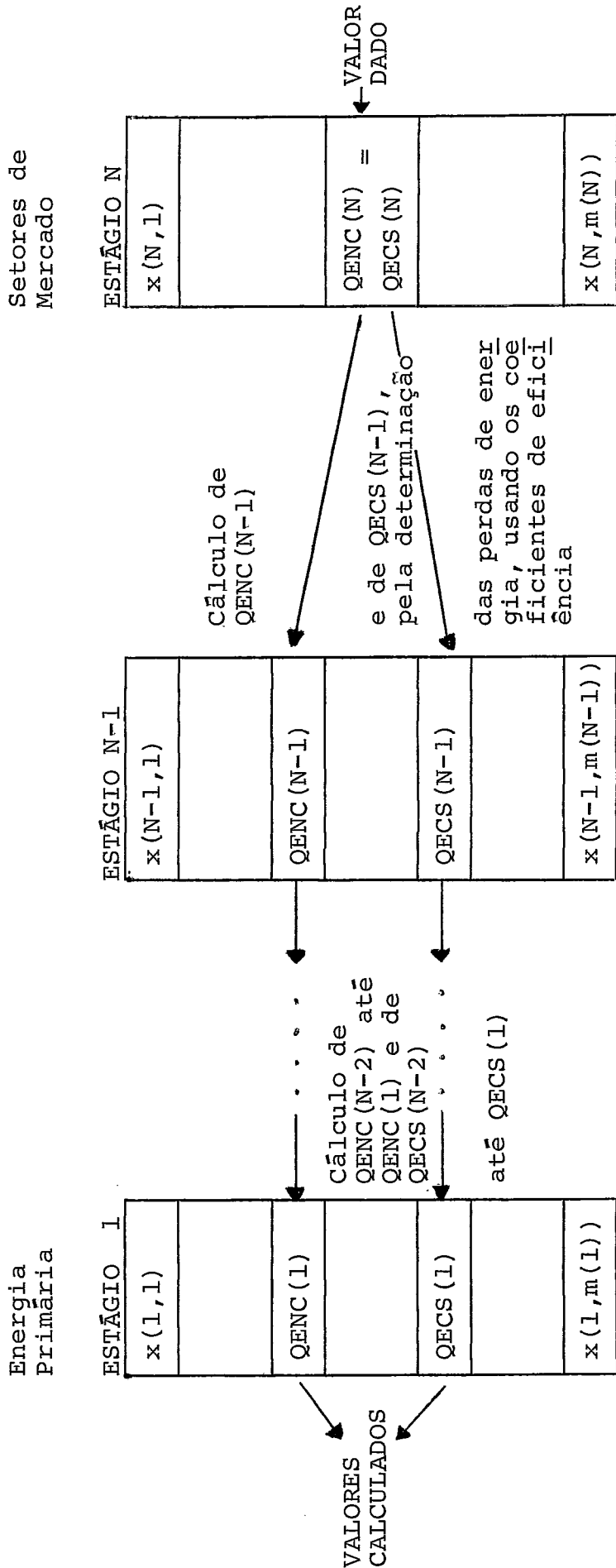
b) estabelece-se as cadeias de transformação das formas energéticas não convencionais introduzidas e das formas "convencionais" substituídas, permitindo o cálculo da quantidade de energia substituída (e também da quantidade de energia não convencional a ser produzida) em cada estágio, desde o setor de mercado considerado até a captação de energia primária, através do uso dos coeficientes de eficiência.

A partir da elaboração de estimativas para os coeficientes de eficiência relativos às formas não convencionais de energia, com base em informações recolhidas pelo grupo de energia da FINEP e na literatura existente a respeito (ver referências bibliográficas 18 a 23), foram simulados vários cenários dos dois tipos descritos acima, configurando diversas alternativas ao cenário-base estabelecido.

Tres cenários do tipo (1) foram construídos para simular, a partir de estimativas da produção de energia sob forma não convencional, as seguintes modificações no cenário-base:

FIGURA 5

Ilustração da construção de cenários a partir da demanda de energia sob forma não convencional



$QENC(i)$ = quantidade de energia sob forma não convencional introduzida no estágio i

$QECS(i)$ = quantidade de energia "convencional" substituída no estágio i

DADOS : $QENC(N) = QECS(N)$ e coeficientes de eficiência ao longo dos dois caminhos (cadeias de transformação das formas energéticas não convencionais introduzidas e das formas "convencionais" substituídas)

- Teste A: introdução de aquecedores solares de água nas residências urbanas, em substituição a aquecedores usando gás liquefeito de petróleo - GLP.
- Teste B: produção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, no setor petroquímico, a partir de eletrólise da água, em lugar da reforma de nafta.
- Teste C: produção de metanol a partir de carvão para adição à gasolina automotiva.

Em cada experiência considerou-se o ano de 1978 como o marco inicial da introdução de modificações no cenário-base, e observou-se a configuração resultante para o setor energético no ano de 1985. O Quadro 2 resume, para o caso do Teste A, as hipóteses estabelecidas sobre o nível de produção de energia não convencional ao longo do período de teste, e as principais modificações, em relação ao cenário-base, constatadas em 1985. Os quadros contendo as hipóteses e resultados dos testes B e C encontram-se no Apêndice 5.

A partir da fixação do nível de substituição de uma dada forma energética, a ser alcançado em 1985, através da introdução de uma forma não convencional de energia capaz de atender igualmente às necessidades do mercado, foram elaborados dezesseis cenários do tipo (2), simulando as modificações no cenário-base que se encontram elencadas no Quadro 3. As hipóteses e resultados correspondentes à realização do Teste 2 encontram-se no Quadro 4, a título de ilustração, sendo que os quadros referentes aos demais testes são apresentados no Apêndice 5.

É interessante observar as características de alguns cenários particulares:

- a) os testes 1, 5 e 10 introduzem, do lado da demanda, as mesmas modificações no cenário-base simuladas nos cenários do tipo (1), correspondentes aos testes A, B e C, mudando apenas os níveis quantitativos da substituição dos derivados de petróleo.
- b) o Teste 8 se refere, a rigor, à introdução de uma forma energética "convencional" (energia elétrica), mas obtida de um

Quadro 2

Teste A - Introdução de Aquecedores Solares de Água nas Residências Urbanas

. Condições da Experiência

- instalação de aquecedores solares em 1000 residências no ano de 1978
- taxa de crescimento do número de residências usando aquecedores solares: 200% em 1979, decaindo exponencialmente até 20% em 1985 (total acumulado de 75000 casas equipadas até 1985)
- eficiência energética global do coletor de energia solar: 40%
- insolação média: 200 W/m²

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- captação de energia solar: 52,5 1000 t EOC
- participação da energia solar no total de energia produzida (incluindo importações): 0,024%
- diminuição nas importações de petróleo: 23,5 1000 t EOC ou 0,053%
- consumo de energia solar no setor doméstico urbano: 21 1000 t EOC ou 0,1% do total do setor
- participação da energia solar no total da energia consumida: 0,01%
- diminuição no consumo de GLP: 21 1000 t EOC ou 0,50%
- relação entre a quantidade de energia solar captada e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,23

Quadro 3

Lista dos Testes Efetuados

- Teste 1 - Substituição de GLP, usado para aquecimento de água no setor doméstico urbano, por energia solar.
- Teste 2 - Substituição de GLP, usado no setor doméstico urbano, por gás obtido a partir do tratamento de resíduos urbanos.
- Teste 3 - Substituição de nafta, na geração de gás de cidade para o setor doméstico urbano, por gás obtido a partir do tratamento de resíduos urbanos.
- Teste 4 - Substituição de nafta, na geração de gás de cidade para o setor doméstico urbano, por gás obtido a partir de carvão.
- Teste 5 - Substituição de nafta, utilizada no setor petroquímico para obtenção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, através da geração de hidrogênio a partir da eletrólise da água.
- Teste 6 - Substituição de nafta, utilizada no setor petroquímico para obtenção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, através da geração de hidrogênio a partir de carvão.
- Teste 7 - Substituição de óleo diesel, usado na geração de energia elétrica para o setor rural, por energia eólica.
- Teste 8 - Substituição de óleo diesel, usado na geração de energia elétrica para o setor rural, por energia hidroelétrica obtida de usinas tubulares (bulbo).
- Teste 9 - Adição de álcool obtido a partir de cana de açúcar à gasolina automotiva.
- Teste 10 - Adição de metanol obtido a partir de carvão à gasolina automotiva.

- Teste 11 - Substituição de Óleo combustível, usado no setor petroquímico, por álcool obtido de cana de açúcar.
- Teste 12 - Substituição de Óleo combustível, usado no setor petroquímico, por metanol obtido a partir de carvão.
- Teste 13 - Substituição de Óleo combustível, usado para fins de produção de calor no setor industrial, por energia solar.
- Teste 14 - Substituição de Óleo combustível, utilizado na indústria de cerâmica, por gás obtido a partir de carvão.
- Teste 15 - Substituição de lenha, usada para secagem de grãos no setor rural, por energia solar.
- Teste 16 - Substituição de lenha, utilizada no setor rural, por gás obtido a partir de resíduos agrícolas.

Quadro 4

Teste 2 - Substituição de GLP, usado no setor doméstico urbano, por gás obtido a partir do tratamento de resíduos urbanos.

. Condições da Experiência

- poder calorífero do lixo urbano: 2500 Kcal/Kg
- proporção de matéria orgânica no lixo: 2/3
- eficiência energética global na transformação de matéria orgânica em biogás: 60%
- fator de carga: 90%
- substituição de 1% do GLP consumido no setor doméstico urbano em 1985: 39 1000 t EOC

. Resultados obtidos para 1985

- quantidade de lixo processada: 98 1000 t EOC ou
351 1000 t
- participação do processamento de resíduos urbanos no total da energia produzida (incluindo importações): 0,045%
- capacidade instalada para processamento de resíduos urbanos: 1067 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo: 44 1000 t EOC ou 0,099%
- relação entre a quantidade de energia nos resíduos urbanos processados e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,23

modo não convencional (produção descentralizada em microhidroelétricas).

- c) os testes 9 e 11 simulam o aumento da utilização do álcool de cana, em relação ao nível fixado no cenário-base.
- d) nos testes 9 e 10, as alterações não foram introduzidas a partir do último estágio, já que a composição da gasolina automotiva não muda apenas para um setor de mercado, e sim no estágio correspondente aos centros de produção da gasolina automotiva, onde ocorre a mistura de álcool ou metanol na gasolina automotiva a ser distribuída para todos os setores de mercado.

Finalmente, duas observações são válidas para todos os cenários apresentados neste trabalho:

- a) os percentuais encontrados nos resultados se referem sempre a relações entre quantidades de energia, medidas em equivalente energético: assim, por exemplo, a participação do metanol no total da gasolina automotiva não se refere a proporções em massa ou volume, mas expressa a contribuição energética do metanol no total da energia produzida sob forma de gasolina automotiva.
- b) podem ser consideradas duas alternativas para o destino da quantidade de energia substituída:
 - i) exportação dessa energia na forma em que é substituída, no mercado: por exemplo, exportação do GLP, da nafta, da gasolina automotiva etc; neste caso, a hipótese implícita é a possibilidade de absorção desses produtos pelo mercado internacional.
 - ii) redução na produção ou importação de energia na forma primária que dá origem à forma energética substituída: por exemplo, diminuição de importações de petróleo, pela substituição do uso de alguns derivados; neste caso, a hipótese implícita é a existência de uma suficiente margem de flexibilidade na operação das refinarias (permitindo modificar a relação entre a produção de cada derivado e a quantidade de petróleo bruto processado).

IV.2.2 - Análise de Investimentos

Os resultados da seção anterior permitem caracterizar a quantidade de energia primária não convencional necessária para substituir uma dada quantidade de energia primária, em cada um dos dezesseis testes de substituição efetuados, sob as hipóteses anteriormente especificadas. Como o M.S.C.A. é linear, essas relações podem ser escritas matematicamente sob a forma:

$$(VI) \quad Y = K \cdot E$$

onde

E = quantidade de energia primária substituída (dada em equivalente energético)

K = constante adimensional que depende das perdas e transformações ocorridas no caminho da fonte primária até o mercado, para as formas de energia consideradas (a substituída e a introduzida)

Y = quantidade de energia primária não convencional introduzida na substituição (dada em equivalente energético).

Visando fornecer subsídios para uma avaliação econômica da introdução de formas não convencionais de energia no setor, foram elaboradas estimativas preliminares que fornecem uma primeira aproximação dos investimentos necessários em cada alternativa para a produção de energia não convencional. O Quadro 5 apresenta a listagem das hipóteses de investimento usadas para cada teste efetuado, indicando a fonte de informação em que se baseiam. Deve-se ressaltar que, em se tratando de uma primeira tentativa de quantificação desses investimentos, foram estimados valores médios, não se considerando, entre outros, os efeitos da economia de escala.

A substituição dos valores médios estimados para os investimentos na equação (VI) permite a obtenção de um conjunto de relações, entre o investimento na produção da forma não convencional de energia introduzida e a quantidade anual da forma energética primária a ser substituída:

$$(VII) \quad I = K' \cdot Q$$

onde

Quadro 5

Estimativas de Investimento na produção de energia sob forma não convencional

- Testes 1, 13 e 15: investimento de Cr\$ 1.500,00 por m² de coletor de energia solar (estimado a partir do preço de aquecedores solares de água à venda no mercado - ver GEATERM²⁴)
- Testes 2 e 3: investimento de US\$ 48 mil por tonelada/dia de capacidade instalada para o tratamento de resíduos urbanos (estimado a partir de levantamento do estado da arte dos métodos de disposição do lixo urbano - ver FINEP/CONSULTEC²²)
- Testes 4 e 14: investimento de US\$ 73 por Nm³/dia de capacidade instalada para produção de gás combustível a partir de carvão (estimado a partir de estudo de pré-viabilidade técnico-econômica da gaseificação de carvão nacional - ver FINEP²⁰)
- Teste 5: investimento de US\$ 210 mil por tonelada/dia de capacidade instalada de produção da amônia, a partir de hidrogênio eletrolítico (estimado a partir de estudo de pré-viabilidade técnico-econômica da produção de amônia a partir de hidrogênio obtido por eletrólise da água - ver FINEP¹⁹)
- Teste 6 - investimento de US\$ 823 por tonelada de amônia produzida a partir de hidrogênio obtido por gaseificação de carvão (ver FINEP²⁰)
- Teste 7: investimento de US\$ 2000 por Kw instalado de gerador eólico (estimado a partir da literatura a respeito do estado da arte de geração de eletricidade usando energia dos ventos - ver Sorensen²⁵)
- Teste 8: investimento de US\$ 2888 por Kw instalado de usina bulbo (estimado a partir do programa para aproveitamento de recursos hidroelétricos de baixa queda - ver Eletrobrás²⁶)
- Testes 9 e 11: investimento de US\$ 22.4 por tonelada de cana de açúcar processada (estimado a partir de dados sobre usinas do estado de São Paulo - ver Associgas²⁷)

- Testes 10 e 12: investimento de US\$ 678 por tonelada de metanol produzida a partir de carvão (ver FINEP²⁰)
- Teste 16: investimento de US\$ 40 mil por tonelada/dia de capacidade instalada para tratamento de resíduos agrícolas (estimado a partir de dados da literatura - ver Poole²⁸)

OBS. Todos os valores monetários se referem ao ano de 1976, usando-se a taxa de paridade: 1 US\$ = Cr\$ 12,50

I = investimento na forma não convencional de energia introduzida (em milhões de dólares)

Q = quantidade da forma de energia primária que se deseja substituir (em unidades físicas/ano)

K' = constante obtida multiplicando-se o fator K anteriormente citado por um valor que depende da estimativa de investimentos realizada e da razão equivalente energético adotado/unidade física da forma energética primária substituída.

A título de ilustração do significado das relações econômicas representadas em (VII), estabeleceu-se, para cada caso, a relação entre o investimento em energia não convencional e o valor da quantidade de energia primária substituída por ano. Foram considerados apenas os testes em que houve substituição de derivados de petróleo, supondo-se o efeito de redução das importações de petróleo e adotando-se o valor de US\$ 14 (dólares de 1976, sendo US\$ 1 = Cr\$ 12,50) por barril de petróleo importado, dando origem a relações matemáticas do tipo:

$$(VIII) \quad I = K'' \cdot V$$

onde

I = investimento na forma não convencional de energia introduzida (em milhões de dólares)

V = valor das importações de petróleo substituídas anualmente (em milhões de dólares)

K'' = número de anos necessário para repor o investimento inicial em energia não convencional, na hipótese de um valor médio constante de US\$ 14 por barril de petróleo.

O Quadro 6 fornece uma visão do conjunto de resultados dos dezesseis testes analisados, para comparação entre os coeficientes K, K' e K''.

Para avaliar o impacto da introdução de um conjunto de formas não convencionais no setor energético, quanto ao nível de substituição de importações de petróleo propiciado por um dado montante de investimentos, outro fator deve também ser levado em conta: o tempo de maturação do investimento em cada alternativa da produção de energia em forma não convencional.

QUADRO 6

TESTE	K (adimensional)	K' (10 ⁶ US\$ por 1000 T petrô- leo/ano)	K'' (número de a- nos)
1	2,23	1,83	18
2	2,23	1,37	14
3	2,12	1,30	13
4	1,53	0,48	5
5	2,19 *	0,49	5
6	1,42	0,64	6
7	1,50 *	1,81	18
8	0,73 *	1,39	14
9	10,55 **	0,73	7
10	3,0	1,34	13
11	10,39 **	0,71	7
12	2,94	1,31	13
13	2,21	1,81	18
14	1,59	0,50	5
15	2,50	-	-
16	1,67	-	-

* = Relação das quantidades de energia medidas em 1000 T EOC, usando-se para a eletricidade a equivalência 1 GWh = 0,29 . 1000t EOC.

** = considerou-se a quantidade de cana de açúcar necessária para a produção do álcool introduzido (o alto valor do co-eficiente decorre do fato de não se levar em conta o aproveitamento do bagaço e do açúcar, também extraídos da ca-na).

Dispondo desse tipo de informação e dos resultados apresentados pelos cenários simulados, pode-se caracterizar o problema de avaliação desse impacto através de uma representação, a título de ilustração, por um modelo matemático de otimização da alocação de investimentos (M.O.A.I.), ao longo do horizonte de planejamento, entre as diversas formas energéticas não convencionais que se deseja implantar. A configuração ótima de alocação dos investimentos corresponde a um limite máximo que pode atingir o impacto, para um dado conjunto de restrições.

Seja por exemplo a introdução de M formas não convencionais de energia em substituição ao petróleo importado, durante um prazo de N anos. Conhece-se, para cada um dos M tipos de substituição:

- a) a constante K' , que mede a relação entre o investimento efetuado e a quantidade de petróleo substituída por ano.
- b) o tempo de maturação TM , que mede o número de anos entre a decisão de investir e o início da produção.
- c) a capacidade produtiva inicial que pode ser instalada.
- d) o ritmo de ampliação da capacidade instalada ao longo do tempo, ou ainda, a capacidade de absorção de novos investimentos que se realizem em aumento da produção.

Deseja-se investir no máximo um percentual W do PIB, a cada ano, não estando incluídos investimentos de reposição dos equipamentos existentes. A quantidade máxima de petróleo importado que pode ser substituída durante o período considerado, traduzindo o impacto desse nível de investimentos na introdução de formas não convencionais de energia no setor, pode então ser calculada através da resolução de um problema de programação linear assim formulado:

$$\text{Max } QT = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-TM(i)} \frac{I(i,j) \cdot (N - TM(i) - j + 1)}{K'(i)}$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^M I(i,j) \leq \frac{W(j)}{100} \cdot \text{PIB}(j) \quad \text{para } j = \overline{1,N}$$

$$\left. \begin{array}{l} I(i,1) \geq \text{LI}(i) \\ I(i,1) \leq \text{LS}(i) \end{array} \right\} \quad \text{para } i = \overline{1,M}$$

$$\left. \begin{array}{l} I(i,j) \leq \left(1 + \frac{\text{RS}(i,j)}{100}\right) \cdot I(i,j-1) \\ I(i,j) \geq \left(1 + \frac{\text{RI}(i,j)}{100}\right) \cdot I(i,j-1) \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{para} \\ i = \overline{1,M} \\ j = \overline{2, N - \text{TM}(i)} \end{array}$$

onde

LI(i) = m̃nimo investimento inicial na i-ésima forma não convencional de energia, que pode ser absorvido no primeiro ano do período considerado.

RI(i,j) = m̃nimo aumento percentual do investimento na i-ésima forma não convencional de energia, no ano j, em relação ao ano anterior.

LS(i) = m̃ximo investimento inicial na i-ésima forma não convencional de energia, que pode ser absorvido no primeiro ano do período considerado.

RS(i,j) = m̃ximo aumento percentual, em relação ao ano anterior, do investimento na i-ésima forma não convencional de energia, no ano j.

QT = quantidade total de petróleo substituído durante o período considerado, em unidades físicas.

Para ilustrar o uso que pode ser dado aos resultados obtidos na simulação dos cenários apresentados na seção anterior (IV. 2.1), foram realizados alguns exemplos de avaliação do impacto da introdução de diferentes conjuntos de formas não convencionais no setor energético. Foi adaptado para esse fim um programa de computador anteriormente desenvolvido (ver referência 29) que utilizava o MPSX³⁰ para resolução de problemas de programação linear pelo método SIMPLEX.

Os Quadros 7 e 8 resumem as hipóteses e resultados do estudo de dois casos selecionados.

QUADRO 7

Testes com o Modelo de Otimização da Alocação de Investimentos

HIPÓTESES

- Período considerado: 1978 a 1985 (N=8 anos)
- Crescimento real do PIB: 8% a.a.
- $W(j) = W = 1\%$
- $RI(i, j) = RI = 4\%$
- $RS(i, j) = RS = 16\%$
- $LI(i) = LI = \frac{1\% \cdot PIB(1977)}{M} \cdot 1,04$
- $LS(i) = LS = \frac{1\% \cdot PIB(1977)}{M} \cdot 1,16$
- tempo de maturação do investimento:
 - . Testes 1, 7, 8 e 13 : 0 anos
 - . Testes 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 e 14 : 2 anos
 - . Testes 10 e 12 : 4 anos
- Nível de preços constante - referência:
ano de 1976; 1 US\$ = Cr\$ 12,50

RESULTADOS

1º caso:

- $M = 14$ (todas as substituições correspondentes aos testes 1 a 14)
- $QT = 43785 \cdot 1000 \text{ t} = 17,6\%$ do total de petróleo importado durante o período

2º caso:

- $M = 6$ (substituições correspondentes aos testes 2, 4, 5, 8, 9 e 12)
- $QT = 47396 \cdot 1000 \text{ t} = 19,0\%$ do total de petróleo importado durante o período

Quadro 8

Evolução dos investimentos realizados em cada forma não convencional de energia em cada ano do período, para o 1º caso

ANO SUBSTITUIÇÃO	78	79	80	81	82	83	84	85
1) solar → glp	NI	NI	NI	NI	NS	NS	NS	NS
2) lixo → glp	NI	NI	NI	NI	NS	NI	-	-
3) lixo → nafta	NI	NI	NI	NI	NS	IT	-	-
4) gás carvão → nafta	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	-
5) hidro.el. → nafta	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	-
6) hidro.carvão → nafta	NS	NS	IT	NI	NS	NS	-	-
7) eólica → ol.diesel	NI	NI	NI	NI	NS	NS	NS	NS
8) bulbo → ol.diesel	NI	IT	NS	NS	NS	NS	NS	NS
9) alcool → gasol.	NI	NI	NI	NI	NS	NS	-	-
10) met. → gasol.	NI	NI	NI	NI	-	-	-	-
11) alcool → ol.comb.	IT	NI	NI	NI	NS	NS	-	-
12) met. → ol.comb.	NI	NI	NI	NI	-	-	-	-
13) solar → ol.comb.	NI	NI	NI	NI	NS	NS	NS	NS
14) gas carv. → ol.comb.	NS	NS	NS	IT	NS	NS	-	-

Legenda:

- NI = investimento no nível inferior permitido pelas restrições do problema : 4% superior ao realizado no ano anterior
- NS = investimento no nível superior permitido pelas restrições do problema : 16% superior ao realizado no ano anterior
- IT = investimento em nível intermediário : de 4 a 16% superior ao realizado no ano anterior

CAPÍTULO VDISCUSSÃO DOS CENÁRIOS

V.1 - Cenário-base

V.1.1 - Discussão das Hipóteses

a) Coeficientes de participação

O uso de coeficientes de participação referentes ao ano de 1970 para todo o período de teste (até 1985) é certamente a hipótese mais forte assumida na elaboração do cenário-base. Sabe-se que os diversos setores de mercado apresentam diferentes taxas de crescimento econômico (por exemplo, setores agrícolas vem crescendo menos que os industriais), acarretando diferentes ritmos de crescimento do consumo de energia, e modificando a participação relativa dos setores de mercado no total consumido de cada forma energética. Fenômenos análogos ocorrem em estágios intermediários da cadeia de transformações sofridas pela energia, das fontes primárias até os setores de mercado, como por exemplo a mudança da participação relativa dos diversos combustíveis fósseis no total da geração de energia elétrica.

b) Coeficientes de eficiência

A manutenção de coeficientes de eficiência (calculados para 1970) constantes durante o período de teste, também pode introduzir distorções na configuração do cenário-base, pois não se considera o efeito do progresso tecnológico. Neste caso, porém, estima-se que o erro cometido não tem a mesma importância da imprecisão no valor dos coeficientes de participação, por tres motivos principais:

- i) a tecnologia do processamento das formas tradicionais de energia, como o petróleo, a energia elétrica, a lenha e o carvão, já se encontra amadurecida, devido ao longo período decorrido desde o início de sua utilização, o que contribui para um menor ritmo de aparecimento de inovações tecnológicas.
- ii) o pequeno tamanho do período de teste (15 anos, de 1970 a 1985), considerado como de curto prazo diante da

grande inércia do setor energético, descrita anteriormente.

- iii) as novas formas energéticas consideradas no cenário-base, sujeitas a um progresso tecnológico mais rápido, comecem a ser introduzidas gradativamente apenas a partir de 1978, no caso do álcool de cana de açúcar e da energia nuclear, e de 1982, no caso do xisto betuminoso.

V.1.2 - Discussão dos Resultados

As críticas apresentadas na seção anterior mostram que os resultados obtidos para o cenário-base devem ser tomados como uma primeira aproximação, apenas, de uma configuração completa do setor energético e de sua evolução, com poucas mudanças estruturais, ao longo do tempo. Os valores numéricos encontrados indicam somente a ordem de grandeza das variáveis correspondentes. Além de fornecer um referencial para comparação com os demais cenários simulados, a principal utilidade da construção do cenário-base foi esclarecer quais os pontos mais importantes para se obter uma melhor representação global do setor energético, tais como:

- sofisticações a serem introduzidas no M.S.C.A.
- problemas metodológicos que devem ser resolvidos, na compatibilização de dados obtidos de diversas fontes
- estimativas a serem elaboradas
- informações a serem levantadas

A seguir será apresentada a discussão de cada um desses quatro itens:

a) Sofisticações a serem introduzidas no M.S.C.A.

O caminho natural da sofisticação do modelo, no sentido de representar de modo mais adequado a realidade do setor energético nacional, deverá ser a elaboração de submodelos que forneçam informações sobre os valores dos coeficientes médios usados nas equações lineares do modelo, com base em cálculos mais refinados sobre a estrutura dos centros de transformação e setores de consumo da energia.

a.1) Centros de transformação da energia

Na montagem da configuração do cenário-base, verificou-se a importância de melhorar a representação no modelo dos centros de transformação da energia, principalmente as refinarias, que já na versão atual do modelo mereceram maior atenção através de uma representação em malha fechada (ver Apêndice 2).

Seria necessário, para obter a desejada avaliação da margem média de flexibilidade de operação e da magnitu-

de das perdas nas refinarias, usinas para a produção de eletricidade, coquearias, usinas de gás, carvoarias, usinas de álcool e açúcar: elaborar submodelos para a representação dos centros de transformação, desagregando as diferentes etapas do processo físico de transformação da energia, caracterizando as entradas e saídas em cada unidade de processamento de uma etapa. No caso das refinarias, por exemplo, a montagem do balanço do fluxo de energia nas operações de reforma, craqueamento etc., permitiria esclarecer os fatores determinantes da magnitude das perdas e a faixa de variação na proporção entre as quantidades produzidas de cada derivado de petróleo.

a.2) Setores de consumo da energia

Além dos centros de transformação da energia, também os principais setores de mercado, como o petroquímico, doméstico rural e urbano, transporte rodoviário, siderurgia de ferro e aço, rural, indústria de cimento, indústria de açúcar e álcool, deveriam ser representados por submodelos, pois é no consumo da energia que se estabelece a principal ligação entre o setor energético e o resto da atividade econômica do país.

O detalhamento das relações entre os "inputs" energéticos e os "outputs" produzidos para a economia por esses setores seria útil para a elaboração de projeções da demanda das diversas formas de energia (ver item (c)) e para caracterizar as necessidades do consumidor atendidas por seus diferentes usos (ver item (d)).

b) Problemas metodológicos que devem ser resolvidos, na compatibilização de dados obtidos de diversas fontes.

b.1) Definição de um valor médio para o fator de conversão da medida, em unidades físicas para unidades de um equivalente energético, de cada forma de energia, em cada estágio: entre outras, a energia elétrica, a cana de açúcar, o álcool de cana, o bagaço de cana, os combustíveis nucleares, o gás natural e os diversos derivados de petróleo apresentam dificuldades na definição desse

fator.

Além disso, apenas a MEB¹⁷ procurou abranger todas as formas de energia, desde a captação nas fontes primárias até a entrega aos setores de mercado, enquanto trabalhos mais recentes (ver referências 3, 4 e 31) estudam menor número de formas energéticas, apresentando diferentes valores, entre si e em relação à MEB, para os fatores de conversão de algumas das formas energéticas enumeradas acima.

- b.2) Definição rigorosa, nas medidas da quantidade de cada forma de energia, do que se entende por: produção, importação e consumo de energia, caracterizando o auto-consumo, as perdas de transformação, transmissão e distribuição, o consumo do setor energético e os usos energéticos e não energéticos.

Dificuldades em relação a esses pontos foram encontradas na utilização dos dados do MME⁴, onde são apresentados valores numéricos iguais para o consumo de energia primária na forma de derivados de petróleo e a soma da produção com a importação de petróleo, para a produção de energia hidroeletétrica e o consumo de energia primária na forma de energia hidráulica. E na constatação da discrepância entre os dados referentes ao gás natural encontrados em diferentes fontes (ver referências 3, 4, 17 e 31), devida ao modo de considerar a produção de gás natural que é reinjetada para manter a pressão nos poços de petróleo e à caracterização do consumo de gás natural nas indústrias como uso energético ou não energético.

- c) Estimativas a serem elaboradas

O cenário-base foi construído a partir da introdução, no segundo estágio da representação adotada para o setor energético, de estimativas para a quantidade produzida de cada forma de energia desse estágio. Através das equações do modelo, manipulando os coeficientes técnicos estimados, a informação inicial se propagava para os demais estágios. Deste modo, as projeções do consumo de energia em cada setor de mercado, no quinto e último estágio, refletiam as es

estimativas disponíveis sobre a produção de energia no segundo estágio, de onde eram deduzidas. Portanto, para identificar possíveis desequilíbrios entre projeções da oferta e da demanda de energia no cenário-base, importante subsídio para a atividade de planejamento do setor, é necessário elaborar projeções independentes da demanda de energia, a partir dos setores de mercado.

Constatou-se que poucos setores (sete) são responsáveis por grande parcela do consumo energético total (cerca de 70%, em 1970): rural, indústria de cimento, siderurgia de ferro e aço, indústria de açúcar e álcool, transporte rodoviário, do místico urbano e doméstico rural. Portanto, teria grande importância o estudo de taxas de crescimento econômico, inovações tecnológicas etc. (ver item a.2), referentes a esses setores, que permitissem a obtenção de estimativas para seus coeficientes técnicos e quantidades demandadas de cada forma de energia.

d) Informações a serem levantadas

d.1) Uma melhor visão global do setor energético, através da sua representação em sete estágios, seria possível através da obtenção de dois tipos de informação: formas de uso da energia e reservas de recursos energéticos

d.1.1) Formas de uso da energia

A atual representação do setor energético pelo M.S.C.A. termina com os setores de mercado, onde a energia é consumida sob as diversas formas comercializadas para uso final. Porém, uma mesma forma de energia em geral pode ser utilizada de vários modos diferentes: por exemplo, a energia elétrica é usada na geração de ar comprimido, em processos eletroquímicos, em transporte e tração, para aquecimento de água, na iluminação, na refrigeração de ambientes etc.

Essa informação é importante para caracterizar as necessidades do consumidor que devem ser atendidas por cada forma energética, e permitem estudar, especificamente para cada função, sua substituição por outra, por exemplo não convencional, ou avaliar o efeito de medidas de

conservação da energia. O levantamento dos possíveis usos da energia nos setores de mercado, e da quantidade comprometida de cada forma energética no seu atendimento, constituiria o último estágio da representação do setor energético, permitindo visualizar as tarefas realizadas pela energia para seus consumidores.

d.1.2) Reservas de recursos energéticos

Constituiriam o primeiro estágio da representação do setor energético, permitindo a verificação da quantidade ainda disponível de recursos não renováveis e o grau de utilização dos recursos renováveis. Poderiam ser definidas como reservas indicadas, por trabalhos de pesquisa, ou como reservas medidas, por trabalho de prospecção.

d.2) Finalmente, quanto a levantamento de novas informações, deve-se observar que, diante das críticas apresentadas na seção anterior (V.1.1), seria da máxima importância efetuar levantamentos que atualizassem anualmente os dados fornecidos pela MEB para 1970 (ver recomendações nesse sentido contidas nas referências 32 e 33), permitindo estimar com maior precisão os coeficientes técnicos do cenário-base para os anos futuros.

V.2 - Cenários Alternativos

V.2.1 - Discussão das Hipóteses

Nos cenários que simulam a introdução de formas não convencionais no setor energético, os resultados em valor absoluto referentes à sua participação percentual no atendimento das necessidades energéticas de um dado setor de mercado, através da substituição de outra forma de energia, também visam fornecer apenas uma ordem de grandeza do impacto da sua contribuição, pois esses valores dependem das hipóteses assumidas na elaboração do cenário-base, que foram discutidas anteriormente (ver seção V.1.1)

A utilidade principal da simulação desses cenários reside na possibilidade de comparação entre as diversas formas não convencionais de energia, do ponto de vista energético e quanto aos investimentos envolvidos na sua produção. Nessa comparação deve-se ressaltar que, mesmo em se tratando de uma primeira aproximação para os valores médios dos coeficientes de eficiência e dos investimentos unitários, as estimativas referentes ao álcool de cana e ao aproveitamento de resíduos pelo tratamento da biomassa apresentam menor grau de confiabilidade, devido à precariedade dos dados disponíveis para introdução no modelo.

Os resultados dessa comparação e os principais fatores que podem vir a modificá-los são discutidos a seguir.

V.2.2 - Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos para os indicadores K' , expressando a relação entre o investimento necessário e a correspondente quantidade de petróleo importado que pode ser substituída, permitem a classificação das formas não convencionais de energia testadas em tres grupos, do ponto de vista de atratividade dos investimentos:

- i) as alternativas mais atrativas seriam a gaseificação de carvão, a eletrólise da água para obtenção de hidrogênio e a produção de álcool a partir da cana de açúcar.
- ii) a seguir viriam a produção de gás pelo tratamento de biomassa, a obtenção de metanol a partir de carvão e a implantação de usinas hidroelétricas tubulares (bulbo).
- iii) finalmente, no terceiro nível estariam incluídas a captação de energia solar e a geração eólica de energia elétrica.

Os termos da comparação apresentada acima podem, no entanto, ser modificados, quando são levados em conta fatores não considerados na realização das simulações:

- a) As alternativas apresentam diferentes períodos de maturação para o investimento efetuado, o que influi na comparação quando se deseja obter resultados dentro de um determinado horizonte de planejamento, melhorando a posição relativa das alternativas de menor tempo de maturação do investimento, como se vê nos resultados (quadros 7 e 8) fornecidos pelo M.O.A.I: por exemplo, a captação de energia solar, apesar de pertencer ao terceiro nível de atratividade, recebe maiores investimentos que a produção de gás a partir de biomassa.
- b) Outras diferenças entre as alternativas consideradas aparecem no valor obtido para o indicador K , que expressa a relação entre a produção necessária de energia primária não convencional e a quantidade substituída de energia primária. Assim, algumas alternativas interessantes, como por exemplo a gaseificação de carvão e a obtenção de álcool de cana, terão seus in-

vestimentos limitados por restrições sobre o total anual da produção viável de carvão e da área disponível para o plantio da cana de açúcar com fins energéticos, respectivamente. O grau dessas limitações sendo diferente para cada alternativa, mudam os termos de comparação entre a gaseificação de carvão e a obtenção de álcool de cana, no caso exemplificado. Portanto, a elaboração de estimativas da quantidade de recursos energéticos primários, disponível para produção de cada forma não convencional de energia testada, em cada ano do horizonte de planejamento considerado, deverá permitir uma melhor representação, através do M.O.A.I, do problema de alocação dos investimentos em formas não convencionais de energia ao longo do tempo.

- c) Outro fator importante a ser considerado na avaliação das alternativas de introdução de formas não convencionais de energia no setor energético brasileiro é o coeficiente de nacionalização da tecnologia empregada: em geral, uma parcela do investimento envolvido na produção de uma dada forma energética é realizada em cruzeiros, dentro do país, enquanto a parcela restante, referente a eventuais importações, assistência técnica, patentes, royalties etc, se traduz em sangria de divisas.

Considerações sobre a atual situação do balanço de pagamentos do país indicam que poderia ser vantajoso pagar, em cruzeiros, mais do que o valor da taxa de câmbio oficial, para evitar importações no valor de 1 dólar. A quantificação de um valor de referência para o preço em cruzeiros que se deseja pagar por 1 dólar, e a verificação dos diferentes índices de auto-suficiência nacional, quanto à absorção dos investimentos envolvidos, na produção de cada forma não convencional de energia, deverão modificar os resultados obtidos para os coeficientes K' e K'' , apresentados no Quadro 6, e consequentemente a avaliação da atratividade das alternativas testadas.

- d) Como foi dito na Introdução (ver Capítulo I), os critérios utilizados neste trabalho, para avaliação do mérito das alternativas de atendimento das necessidades energéticas, conside

raram apenas o nível dos investimentos envolvidos e o grau correspondente de auto-suficiência energética atingida (diminuição das importações de petróleo), em cada alternativa. Portanto, para a obtenção de uma visão global da introdução de formas alternativas de energia no setor energético, a análise dos resultados obtidos neste trabalho contribui de forma intrinsecamente limitada, pois outros benefícios e custos para a sociedade devem também ser considerados, podendo-se citar, entre outros:

- d.1) No âmbito puramente econômico, não sã os investimentos, mas também os custos de operação, de manutenção e de investimento devem ser avaliados: no caso da produção de álcool de cana para fins energéticos, por exemplo, os investimentos necessários para substituir uma dada quantidade de petróleo importado são modestos, em relação às outras formas não convencionais de energia, enquanto os custos operacionais correspondentes são mais elevados que os das demais alternativas testadas. Além disso, duas alternativas que necessitem investimentos de igual magnitude podem apresentar diferentes custos de investimento, devido a diferenças em fatores de carga e vida útil das unidades de produção.
- d.2) Os efeitos sobre o meio-ambiente da produção, transporte, armazenamento e utilização da energia, nas suas diversas formas: emissões de CO, CO₂, NO₂, NO₃, SO₂, SO₃ e partículas poluentes no ar e nas águas, alteração do equilíbrio ecológico, resíduos radioativos etc (ver Baughman¹⁴). Sob este ponto de vista existem óbvias diferenças entre as alternativas consideradas neste trabalho, como por exemplo entre a extração de carvão para gaseificação e a captação de energia solar.
- d.3) Os efeitos de criação de novos empregos, dependendo da quantidade de mão de obra absorvida pela tecnologia empregada: por exemplo, a produção de álcool de cana e de carvão para gaseificação gerariam um número de empregos bem maior que a obtenção de hidrogênio pela eletrólise da água.

d.4) Os benefícios e custos da descentralização versus centralização na captação da energia: por exemplo, a criação de núcleos auto-suficientes em termos de energia, em fazendas, pequenas cidades e comunidades situadas no interior, em localidades de difícil acesso, evitando a necessidade de transporte da energia, contra a economia de escala obtida na instalação de grandes unidades de produção. Entre as formas não convencionais de energia, a captação de energia solar, o aproveitamento da energia eólica, a implantação de usinas tubulares (bulbo) e a geração de gás a partir de detritos são exemplos típicos de soluções descentralizadas, enquanto a utilização de carvão, para gaseificação ou na obtenção de metanol, corresponderia ao caso contrário.

De um modo geral, os fatores acima enumerados são quantificáveis, podendo ser introduzidos nos dois modelos matemáticos apresentados (M.S.C.A. e M.O.A.I.), através de dados perfeitamente definidos e normalizados. Alguns aspectos, porém, são dificilmente quantificáveis, como certos benefícios da descentralização da captação de energia e fatores que dependem de localização geográfica, e não precisam ser incorporados aos modelos, servindo as informações qualitativas disponíveis como elementos para a avaliação das alternativas de fechamento do balanço energético e para formulação de novos cenários pelo planejador.

Finalmente, cabe ainda lembrar que, para se obter uma visão mais global do problema de planejamento energético, outros cenários devem ser formulados, a partir da mudança do quadro de necessidades energéticas da sociedade, considerado neste trabalho, pois:

1) As formas não convencionais de energia podem ser usadas não só para substituir as formas energéticas tradicionais, mas também para propiciar, em alguns casos, um maior grau de satisfação das necessidades do consumidor: por exemplo, no setor da pesca parte da produção se perde devido à falta de gelo, que poderia ser obtido através da utilização de energia solar. Analogamente, no setor agrícola, a secagem de

grãos em silos aparelhados para captar a energia solar permitiria um melhor aproveitamento da colheita. É importante então ampliar o quadro de consumo energético nacional a ser considerado no planejamento, de modo a abranger maior número de consumidores e também as necessidades energéticas que não vem sendo satisfeitas pelas formas "convencionais" de energia.

- 2) Por outro lado, se forem adotadas medidas de conservação da energia, o mesmo grau de satisfação das necessidades energéticas da sociedade poderá ser obtido com menor dispêndio de energia. Sabe-se que a conservação de energia vem sendo encarada como uma das mais promissoras alternativas de solução para o problema de planejamento energético, a curto prazo (ver referências 32 e 34). Assim, a estimativa do alcance de investimentos em conservação de energia, na redução da magnitude do consumo energético nacional, permitiria a construção de um importante cenário, a ser avaliado conjuntamente com a introdução de formas não convencionais de energia no setor.

CAPITULO VICONCLUSÕES

VI.1 - Validade

A validade do uso de modelos matemáticos não deve ser julgada pelos padrões de uma perfeição ideal, mas pela comparação da descrição que fornecem do sistema em estudo com a que é obtida através de outros modelos descritivos, como por exemplo os verbais (ver Forrester³⁵).

Assim, a principal utilidade do M.S.C.A. é explicitar claramente as hipóteses e as relações entre as variáveis do sistema, assumidas pelo planejador, em oposição às descrições imprecisas, incompletas e inconsistentes do problema de planejamento energético e de suas soluções, que muitas vezes são feitas, verbalmente, escondendo a existência de hipóteses implícitas no raciocínio do planejador.

O processo de modelagem e a experimentação com o M.S.C.A. através da simulação de cenários tiveram um efeito didático, propiciando uma compreensão mais ampla e objetiva das relações entre as variáveis do sistema e o efeito das hipóteses assumidas. É importante notar que esta maior compreensão pode ser facilmente comunicada a outros técnicos de planejamento, ou aos responsáveis pelas decisões políticas na área, pois o M.S.C.A. descreve o sistema em estudo através de uma linguagem objetiva e simples:

- a) pequeno número de coeficientes resume o conteúdo das hipóteses assumidas.
- b) os resultados são sintetizados por meio de alguns poucos indicadores numéricos.
- c) os cálculos envolvidos podem até ser feitos à mão, sem dificuldade, tratando-se da simples resolução de equações lineares; o uso do computador visa apenas facilitar o armazenamento de um considerável volume de dados, permitir a rápida simulação de um grande número de cenários e fornecer uma es

estrutura básica para possibilitar a gradativa sofisticação da modelagem.

VI.2 - Limitações

As principais limitações do uso do M.S.C.A., neste trabalho, decorreram:

- a) das simplificações realizadas na própria representação do setor energético.
- b) da não disponibilidade de dados mais detalhados sobre o setor energético brasileiro como um todo.
- c) do baixo nível de precisão das estimativas elaboradas.
- d) da não consideração de fatores importantes na avaliação do mérito das alternativas de planejamento energético.

Assim, o M.S.C.A., no seu atual estágio, constitui apenas o primeiro passo para a realização do objetivo da obtenção de um instrumento quantitativo de apoio ao planejamento energético global.

A maior compreensão sobre o comportamento do sistema, adquirida na execução desse primeiro passo, contribui, porém, para definir as diretrizes do processo de sofisticação do modelo, abrindo perspectivas para a superação de algumas de suas limitações.

VI.3 - Subsídios para a formulação de uma política energética - - Perspectivas

As principais conclusões e as linhas de atuação sugeridas para o prosseguimento do estudo são resumidas a seguir:

- a) Uma melhor visão global do setor energético poderá ser obtida:
 - a.1) A partir da uniformização de critérios metodológicos (por exemplo, na adoção dos fatores de conversão para um equivalente energético, e na definição rigorosa do que se entende por produção, consumo, perdas e usos não energéticos da energia).
 - a.2) Pela elaboração de projeções da demanda de energia, a partir dos setores de mercado.
Essas estimativas permitiriam usar o M.S.C.A. para identificar possíveis desequilíbrios entre as projeções da oferta e demanda de energia, através da formulação de cenários para anos futuros com base na introdução de dados simultaneamente em estágio do lado da produção e em estágio correspondente à demanda dos setores de mercado da energia.
 - a.3) Através do levantamento de informações sobre as formas de uso final da energia e as reservas de recursos energéticos.
Essas informações poderiam ser incorporadas ao M.S.C.A. através da introdução de mais dois estágios na representação do setor energético brasileiro.
 - a.4) Através da elaboração de submodelos para representação mais detalhada, pelo M.S.C.A., dos centros de transformação da energia, como as refinarias, usinas para produção de energia elétrica, carvoarias etc., e dos principais setores de consumo da energia, como o petroquímico, rural, transporte rodoviário, siderurgia de ferro e aço, entre outros.
 - a.5) Principalmente, pela atualização dos dados fornecidos

pela MEB para o ano de 1970.

Isto permitiria estimar com maior precisão os valores dos coeficientes técnicos usados pelo M.S.C.A. na formulação do cenário-base para os anos futuros.

- b) Do ponto de vista da atratividade dos investimentos, as alternativas mais interessantes para a introdução de formas não convencionais no setor energético brasileiro são:
- b.1) a gaseificação de carvão, a eletrólise da água para obtenção de hidrogênio e a produção de álcool a partir da cana de açúcar.
- b.2) a seguir, vem a produção de gás pelo tratamento da biomassa, a obtenção de metanol a partir de carvão e a implantação de usinas hidroelétricas tubulares (bulbo).
- b.3) em terceiro plano, estão a captação de energia solar e a geração eólica de energia elétrica.
- c) Urge, porém, estimar os índices de auto-suficiência nacional quanto à absorção dos investimentos, envolvidos na implantação de cada forma não convencional de energia, o que poderá alterar a comparação da atratividade econômica das alternativas testadas.
- Para incorporar esses fatores ao M.S.C.A., bastaria indexar a cada forma de energia os investimentos, custos de investimentos, de operação e de manutenção correspondentes a cada passagem de um estágio para o consecutivo, especificando a parcela destinada ao exterior e os gastos dentro do país.
- d) Estimativas preliminares do impacto da introdução de um conjunto de formas não convencionais no setor energético brasileiro indicam que, para investimentos da ordem de 1% do PIB, entre 1978 e 1985, a redução correspondente no total das importações de petróleo no período poderia ser de até 19%. O nível absoluto desse impacto dependerá não somente do montante de investimentos alocado, mas também das limitações existentes quanto ao ritmo de crescimento da produção anual, devido à pequena capacidade produtiva inicial e à reduzida quantidade de recursos humanos existentes na área. Esses fa-

tores poderiam ser traduzidos em valores numéricos e incorporados ao modelo de otimização da alocação de investimentos - M.O.A.I., através de restrições sobre a capacidade de absorção de novos investimentos para aumento da produção de energia em dada forma não convencional.

- e) Além da introdução de formas não convencionais de energia, outras alternativas para a evolução do setor energético brasileiro devem ser testadas. Assim, é importante elaborar estimativas do alcance de investimentos em conservação de energia.

A partir dessas estimativas, o M.S.C.A. poderia simular cenários para representar a introdução de medidas de conservação de energia, associando a níveis inferiores de demanda das diversas formas energéticas, nos setores de mercado, os investimentos correspondentes.

- f) Para a avaliação do mérito das diferentes alternativas de atendimento das necessidades energéticas, não é suficiente considerar o nível dos investimentos (e custos) envolvidos, diante da auto-suficiência atingida (quantidade substituída de energia importada). Outros critérios devem ser elaborados para levar em conta nessa avaliação os efeitos sobre o meio-ambiente, a quantidade de empregos gerada e os benefícios e custos decorrentes da descentralização ou centralização na captação da energia, entre outros fatores.

Alguns desses aspectos poderiam ser quantificados e incorporados ao M.S.C.A.: por exemplo, pode-se associar a cada forma energética, ao longo da cadeia que vai da captação ao consumo de energia, os correspondentes níveis de emissão de SO_2 , SO_3 , NO_2 , NO_3 , CO , CO_2 e partículas poluentes em geral.

Outros fatores, porém, como alguns benefícios e custos da descentralização da captação de energia ou noções a respeito da importância do setor energético para o resto da economia, em termos de quantidade de empregos gerada e de demanda de bens e serviços induzida, são dificilmente quantificáveis e não precisam ser incorporados ao modelo, servindo essencialmente para formar as opiniões do planejador.

Finalmente, deve-se lembrar que a sofisticação do modelo, propiciando uma descrição mais fiel da realidade, acarreta também um aumento da sua complexidade. Como a clareza e facilidade de compreensão de um modelo são fundamentais para que ele seja realmente usado como instrumento de apoio ao planejamento, é importante que se procure um ponto de compromisso entre fidelidade e simplicidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GODELIER, Maurice - Racionalidade e Irracionalidade na Economia, Ed. Tempo Brasileiro. 397 p.
2. FINEP - Atividades do Programa de Energia da FINEP, Junho 1977
3. COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DA CONFERÊNCIA MUNDIAL DA ENERGIA - Estatística Brasileira de Energia, nº 17, 1973
4. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - Balço Energético Nacional, 1976
5. BARRERA, Carlos A. - Reproduccion de Energia Social, publicacion nº 21 - Fundacion Bariloche, 1976
6. PESTEL, E.; MESAROVIC, M. - Rapport au Club de Rome
7. DUMONT, René - L'utopie ou la mort, Ed. Seuil, 1973. 192 p.
8. MANNE, Alan S. - ETA: A Model for Energy Technology Assessment, Electric Power Research Institute
9. HERRERA, Amilcar O.; SCOLNIK, Hugo D. et al. - Catastrophe or New Society? A Latin American World Model, Fundacion Bariloche and International Development Research Centre, 1976. 108 p.
10. COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DA CONFERÊNCIA MUNDIAL DA ENERGIA - Energia e Meio-Ambiente, semana de debates, 26 a 29 de novembro de 1973
11. VARSAVSKY, Oscar - Modelos Matemáticos y Experimentacion Numerica, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Planejamento Econômico e Social
12. CHERNIAVSKY, E.A. - Energy Systems Analysis and Technology Assessment Program, BNL 19569, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, December 1974.

13. VOGELY, William A. - Energy modelling and policy making - a review Energy Modelling, workshop organised by the US National Science Foundation and the Energy Research Unit, Queen Mary College, London, 15/19 October 1973
14. BAUGHMAN, Martin L. - A model for energy - environment systems analyses: structure and uses. Energy Modelling, op.cit.
15. LEONTIEF, Wassily W. - The Structure of American Economy, 1919 - 1939, 2^d ed. Oxford University Press, New York, 1951.
16. SECRETARIA DE ESTADO DE ENERGIA, República Argentina - Balance Energético Nacional, Metodologia General, setiembre 1974.
17. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA; INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E CONÔMICO E SOCIAL - Matriz Energética Brasileira, Sumário do Relatório Global Preliminar
18. FINEP - Programa de Pesquisas e Desenvolvimentos em Energia Solar no Brasil, agosto 1974
19. FINEP - Amônia Eletrolítica: Estudo de Viabilidade Econômica, dezembro 1976
20. FINEP - Informações Técnicas e Econômicas Preliminares da Utilização de Gaseificação de Carvão para Produção de Amônia, Metanol e Gás Combustível e para Redução Direta, 1976
21. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - Eletrobrás - Fontes Não Convencionais, Diretoria de Coordenação, agosto 1976
22. FINEP/CONSULTEC - Disposição do Lixo no Brasil e suas Perspectivas, janeiro 1977
23. GOLDEMBERG, José - Energia no Brasil, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976. 158 p.

24. GEATERM - Energia Solar - Coletor Concentrador, Sistema R. S.E., São Paulo
25. SORENSEN, Bent - Wind Energy. Bulletin of the Atomic Scientists, september 1976
26. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - Eletrobrás - Programa para Aproveitamento de Recursos Hidroelétricos de Baixa Queda, setembro 1976
27. ASSOCIGÁS - Fotossíntese como fonte energética
28. POOLE, Alan - The Potential for Energy Recovery from Organic Wastes. The Energy Conservation Papers, edited by R. H. Williams, Cambridge, 1974
29. LA ROVERE, Emilio Lèbre - Comparação e Avaliação da Aplicação de Algoritmos de Programação Linear e Não Linear a Alguns Exemplos Práticos, trabalho de fim de curso - PUC - RJ, julho 1975
30. I.B.M. - Mathematical Programming System Extended (MPSX) Linear and Separable Programming Program Description, Program Number 5734 - XM4, SH20 - 0968
31. FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS - Balanco Energético Brasileiro, Nota CP.P-131, Divisão de Estudos de Mercado, março 1976
32. FINEP/MME - Anais do Seminário sobre Conservação de Energia, no prelo, a ser publicado proxicamente
33. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - Eletrobrás - Balanco Energético Nacional: Conceito e Proposta de Elaboração, Assessoria Especial da Presidência, outubro 1976.
34. FINEP - Termo de referência para debates do Seminário sobre Conservação de Energia, 25/27 outubro 1976
35. FORRESTER, Jay W. - Principles of Systems, Wright-Allen Press, Inc., Cambridge, Mass., 1968

Apêndice 1

A Conservação do Fluxo de Energia no Modelo

Na Figura 1 (ver página 18), observa-se que a energia flui do estágio 1 para o estágio 3, ou seja, a energia primária captada sofre transformações até ser consumida nos diversos setores de mercado. Constata-se que ocorrem perdas ao longo desse processo, pois no Exemplo 1 o fluxo de energia que chega no estágio 2 é inferior ao fluxo que sai do estágio 1, analogamente ao que acontece entre os estágios 2 e 3, ou ainda, sob forma matemática:

$$(IX) \quad X(i) - S(i) > X(i+1) \quad \text{para } i = \overline{1, N-1}$$

onde:

$$X(i) = \sum_{j=1}^{m(i)} x(i, j)$$

$$S(i) = \sum_{j=1}^{m(i)} s(i, j)$$

É necessário, portanto, mostrar que a lei da conservação do fluxo de energia é respeitada no equacionamento do M.S.C.A., partindo das equações fundamentais (I) e (II) (ver página 23).

Somando-se a equação (I) ao longo de todos os elementos do estágio i , tem-se:

$$\sum_{j=1}^{\hat{m}(i)} x(i, j) = \sum_{j=1}^{m(i)} s(i, j) + \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{m(i+1)} (f(i, j, k) + p(i, j, k))$$

$$\text{para } i = \overline{1, N-1}$$

Usando as definições de $X(i)$ e $S(i)$, obtêm-se:

$$(X) \quad X(i) = S(i) + \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{m(i+1)} f(i, j, k) + \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{m(i+1)} p(i, j, k)$$

para $i = \overline{1, N-1}$

Analogamente, somando-se a equação (II) ao longo de todos os elementos do estágio $i+1$, tem-se:

$$\sum_{k=1}^{m(i+1)} x(i+1, k) = \sum_{k=1}^{m(i+1)} \sum_{j=1}^{m(i)} f(i, j, k)$$

para $i = \overline{1, N-1}$

Essa equação é equivalente a:

$$(XI) \quad X(i+1) = \sum_{k=1}^{m(i+1)} \sum_{j=1}^{m(i)} f(i, j, k)$$

para $i = \overline{1, N-1}$

Substituindo a equação (XI) em (X), fica-se com:

$$X(i) = S(i) + X(i+1) + \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{m(i+1)} p(i, j, k)$$

para $i = \overline{1, N-1}$

Ou ainda:

$$(XII) \quad X(i) - S(i) = X(i+1) + \sum_{k=1}^{m(i+1)} \sum_{j=1}^{m(i)} p(i, j, k)$$

para $i = \overline{1, N-1}$

Comparando a equação (XII) deduzida acima com a inequação (IX) constatada no caso do Exemplo 1, verifica-se que a diferença entre o fluxo de energia que sai de um dado estágio e o fluxo que chega no estágio consecutivo, é traduzida no M.S.C.A. pelo somatório das perdas ocorridas nas transformações referentes à transição entre esses dois estágios. Em todos os casos de interesse prático, assim como no Exemplo 1, ocorre que:

$$\sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{m(i+1)} p(i,j,k) > 0 \quad \text{para } i = \overline{1, N-1}$$

$$\Rightarrow \quad \text{(IX)} \quad X(i) - S(i) > X(i+1) \quad \text{para } i = \overline{1, N-1}$$

É interessante observar, porém, que no Exemplo 1 há um caso de valor negativo para perdas de energia, na transformação de petróleo em eletricidade:

$$p(1,2,2) = -1\,322 \cdot 10^{12} \text{ cal} \quad (\text{ver página 20})$$

Isto ocorre devido ao valor adotado pela MEB para conversão de energia elétrica em unidades térmicas (o equivalente energético é $1000 \text{ Gcal} = 10^{12} \text{ cal}$), que é dado pela seguinte relação:

$$1 \text{ GWh} = 3,583 \cdot 10^{12} \text{ cal} = \frac{0,860}{0,24} \cdot 10^{12} \text{ cal}$$

Assim, a energia elétrica é supervalorizada em relação ao valor teórico de equivalência (que seria de 0,860) por um fator de 4,17 (igual a $1/0,24$). Sendo a eficiência energética da queima de petróleo (e derivados), para produção de eletricidade, superior a 24%, tem-se então um valor negativo para as perdas nessa transformação.

Este caso, porém, constitui uma exceção, sendo positivo o valor do somatório das perdas ocorridas nas transformações entre o primeiro e o segundo estágios, no exemplo considerado.

Apêndice 2

Utilização das Equações do Modelo na Simulação de Cenários

Na elaboração do cenário-base, o importante, do ponto de vista da utilização do M.S.C.A. na sua simulação, é que os coeficientes técnicos são dados conhecidos. Isto determina as relações entre variáveis associadas a elementos de diferentes estágios. Para completar a caracterização do cenário a ser testado, o planejador fornece ainda valores hipotéticos para as variáveis associadas aos elementos de um estágio μ qualquer. Assim, são conhecidos:

$$i) \quad a(i,j,k) ; b(i,j,k) ; c(i,j,k)$$

$$\text{para } i = \overline{1, N-1} ; j = \overline{1, m(i)} ; k = \overline{1, m(i+1)}$$

$$ii) \quad x(\mu, j) \quad \text{para } j = \overline{1, m(\mu)}$$

OBS.

Admite-se ainda o conhecimento dos valores das variações de estoque: $s(i,j)$, para $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, m(i)}$. Na prática, normalmente não há interesse em estimar esses valores para anos futuros, pois dependem de circunstâncias aleatórias, e usa-se variações de estoque nulas.

O problema consiste em determinar:

$$i) \quad f(i,j,k) \text{ e } p(i,j,k)$$

$$\text{para } i = \overline{1, N-1}, \quad j = \overline{1, m(i)}, \quad k = \overline{1, m(i+1)}$$

$$ii) \quad x(i,j) \quad \text{para } i = \overline{1, N-1}, \quad j = \overline{1, m(i)}$$

sendo $i \neq \mu$

As equações fundamentais do M.S.C.A. (ver equações (I) a

(V) descritas na seção III.2) podem então ser manipuladas de forma a determinar os fluxos e as perdas de energia, e os valores das variáveis associadas aos elementos de todos os demais estágios.

No caso dos estágios posteriores ao estágio $\underline{\mu}$ do qual se conhece os dados, usando as equações (II), (III) e (IV) obtêm-se:

$$(XIII) \quad f(i,j,k) = b(i,j,k) \cdot (x(i,j) - s(i,j)) \cdot a(i,j,k)$$

$$(XIV) \quad p(i,j,k) = b(i,j,k) \cdot (x(i,j) - s(i,j)) \cdot (1 - a(i,j,k))$$

$$(XV) \quad x(i+1,k) = \sum_{j=1}^{m(i)} (b(i,j,k) \cdot (x(i,j) - s(i,j)) \cdot a(i,j,k))$$

$$\text{para } i = \overline{\underline{\mu}, N-1}, \quad j = \overline{1, m(i)} \quad \text{e} \quad k = \overline{1, m(i+1)}$$

Para os estágios anteriores ao estágio $\underline{\mu}$, as equações (I), (III) e (V) fornecem:

$$(XVI) \quad f(i,j,k) = c(i,j,k) \cdot x(i+1,k)$$

$$(XVII) \quad p(i,j,k) = c(i,j,k) \cdot x(i+1,k) \cdot \left(\frac{1}{a(i,j,k)} - 1 \right)$$

$$(XVIII) \quad x(i,j) = s(i,j) + \sum_{k=1}^{m(i+1)} \left(\frac{c(i,j,k) \cdot x(i+1,k)}{a(i,j,k)} \right)$$

$$\text{para } i = \overline{1, \underline{\mu}-1}, \quad j = \overline{1, m(i)}, \quad k = \overline{1, m(i+1)}$$

A informação introduzida no estágio $\underline{\mu}$ vai se propagando até cobrir todo o setor:

- as equações (XIII) a (XV) determinam os fluxos e perdas de energia entre os estágios $\underline{\mu}$ e $\underline{\mu} + 1$, permitindo calcular o valor total de cada elemento do estágio $\underline{\mu} + 1$; pode-se então re

iniciar o processo, aplicando-se as mesmas equações até preencher os valores correspondentes aos elementos do último estágio, N .

- as equações (XVI) a (XVIII), analogamente, calculam inicialmente os fluxos e perdas de energia entre os estágios $\mu - 1$ e μ , e o processo se repete para todos os estágios anteriores, até preencher os valores correspondentes aos elementos do estágio 1.

Observe-se que nas equações (XIII) a (XV) não aparecem os coeficientes de participação do lado da entrada, $c(i, j, k)$. Na verdade, não são necessárias estimativas para os valores desses coeficientes, desde $i = \mu$ até $i = N-1$, pois todos os valores das variáveis f , p e x que aparecem à direita do estágio μ são determinados com base no conhecimento dos coeficientes de participação do lado da saída, $b(i, j, k)$. Os coeficientes $c(i, j, k)$, para $i = \overline{\mu, N-1}$, são obtidos como resultados, na divisão da equação (XIV) pela (XV):

$$(XIX) \quad c(i, j, k) = \frac{b(i, j, k) \cdot (x(i, j) - s(i, j)) \cdot a(i, j, k)}{\sum_{j=1}^{m(i)} (b(i, j, k) \cdot (x(i, j) - s(i, j)) \cdot a(i, j, k))}$$

$$\text{para } i = \overline{\mu, N-1}; \quad j = \overline{1, m(i)}; \quad k = \overline{1, m(i+1)}$$

Analogamente, no cálculo dos valores das variáveis f , p e x à esquerda do estágio μ , através das equações (XVI) a (XVIII), não aparecem os coeficientes $b(i, j, k)$, para $i = \overline{1, \mu-1}$. Estes são obtidos como resultados na divisão da soma das equações (XVI) e (XVII) pela equação (XVIII):

$$(XX) \quad b(i, j, k) = \frac{c(i, j, k) \cdot x(i+1, k)}{a(i, j, k)} \\ \sum_{k=1}^{m(i+1)} \frac{c(i, j, k) \cdot x(i+1, k)}{a(i, j, k)}$$

para $i = \overline{1, \mu-1}$; $j = \overline{1, m(i)}$; $k = \overline{1, m(i+1)}$

Essas observações indicam que o uso dos coeficientes técnicos no modelo depende do valor de $\underline{\mu}$, ou seja, do estágio onde é introduzida a informação inicial.

Cabe ainda chamar a atenção para uma hipótese implícita no uso da equação (XVII), que determina as perdas de energia $p(i,j,k)$ entre os elementos dos estágios \underline{i} e $\underline{i+1}$, conhecidos os valores de $x(i+1,k)$ e $a(i,j,k)$. De fato, essa equação pressupõe que as perdas envolvidas na transformação da energia sob a forma do elemento \underline{j} no estágio \underline{i} , para a forma do elemento \underline{k} , no estágio $\underline{i+1}$, dependem somente da magnitude do fluxo de energia transformada, $f(i,j,k)$. Isto fica mais claro quando se substitui a equação (XVI) na equação (XVII):

$$(XXI) \quad p(i,j,k) = f(i,j,k) \cdot \left(\frac{1}{a(i,j,k)} - 1 \right)$$

para $i = \overline{1, \mu-1}$; $j = \overline{1, m(i)}$; $k = \overline{1, m(i+1)}$

Para que este procedimento seja válido, é preciso portanto que $p(i,j,k)$ independa do valor de $x(i,j)$. As transformações em que isto ocorre, que são as mais comuns no setor energético, são ditas de malha aberta. Por exemplo, seja a transmissão de energia elétrica para os setores de mercado, retirada do Exemplo 1 (ver página 21) e representada na Figura 6 mostrada a seguir:

Suponha-se que são conhecidos:

$$x(3,1) = 198459 \quad ; \quad c(2,2,1) = 0.15 \quad ; \quad a(2,2,1) = 0.8$$

De (XVI) tem-se:

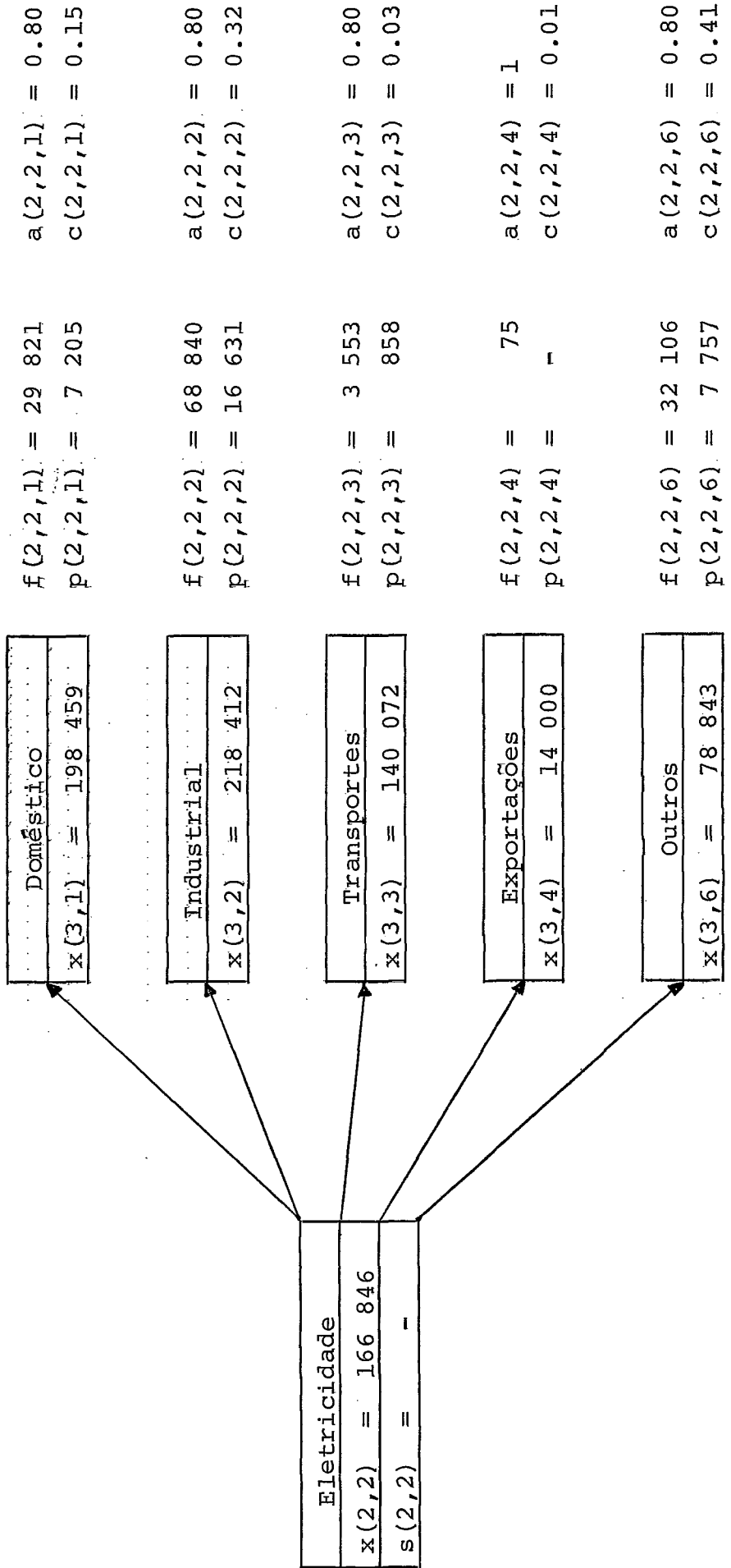
$$f(2,2,1) = c(2,2,1) \cdot x(3,1) = 29 \ 821$$

De (XVII):

$$p(2,2,1) = c(2,2,1) \cdot x(3,1) \cdot \left(\frac{1}{a(2,2,1)} - 1 \right) = 7 \ 205$$

FIGURA 6

Transmissão de Energia Elétrica para os Setores de Mercado no caso do Exemplo 1



ESTÁGIO 2
Energia Secundária

ESTÁGIO 3
Setores de Mercado

Analogamente seriam calculados os valores de $f(2,2,2)$, $p(2,2,2)$ até $f(2,2,6)$, $p(2,2,6)$ e da equação (I) viria o valor de $x(2,2)$:

$$x(2,2) = s(2,2) + \sum_{k=1}^6 (f(2,2,k) + p(2,2,k)) = 166\ 846$$

O valor de $p(2,2,1)$ estará correto mesmo se ocorrer variação nos valores de $x(3,2)$ a $x(3,6)$, acarretando diferentes $f(2,2,2)$, $p(2,2,2)$ $f(2,2,6)$, $p(2,2,6)$ e conseqüentemente um novo valor para $x(2,2)$, pois as perdas da transmissão de energia elétrica para o setor Doméstico não dependem do total de eletricidade produzida, mas do fluxo de energia elétrica dirigido para o setor Doméstico.

Porém, existem exceções, ou seja, transformações em que essa independência não ocorre, e que são ditas de malha fechada. É o caso de uma refinaria de petróleo, onde as perdas de energia na produção de um derivado, como a nafta, podem não depender exclusivamente da quantidade de nafta a ser produzida, e sim do total de petróleo a ser processado na refinaria, por exemplo. Para essas transformações, o cálculo dos valores de $p(i,j,k)$ através da equação (XVII) não pode mais ser realizado, pois não basta conhecer os valores de $f(i,j,k)$. Apresenta-se a seguir a dedução das equações (XXII) e (XXIII), que devem ser aplicadas em substituição às equações (XVII) e (XVIII), quando os valores de $p(i,j,k)$ dependem de $x(i,j)$:

O ponto de partida é dado pelo uso das equações (I), (XIV) e (XVI). Substituindo (XIV) em (I), vem:

$$x(i,j) = s(i,j) + \sum_{k=1}^{m(i+1)} f(i,j,k) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{m(i+1)} b(i,j,k) \cdot (x(i,j) - s(i,j)) \cdot (1 - a(i,j,k))$$

Substituindo o valor de $f(i,j,k)$ dado pela equação (XVI) e manipulando algebricamente a equação acima, tem-se:

$$(XXII) \quad x(i,j) = s(i,j) + \frac{\sum_{k=1}^{m(i+1)} c(i,j,k) \cdot x(i+1,k)}{1 - \sum_{k=1}^{m(i+1)} b(i,j,k) \cdot (1 - a(i,j,k))}$$

Finalmente, substituindo (XXII) em (XIV) obtêm-se:

$$(XXIII) \quad p(i,j,k) = \frac{\sum_{k=1}^{m(i+1)} c(i,j,k) \cdot x(i+1,k)}{1 - \sum_{k=1}^{m(i+1)} b(i,j,k) \cdot (1 - a(i,j,k))}$$

Neste caso, é importante notar o diferente uso dado aos coeficientes técnicos: apesar das novas equações encontrarem emprego no cálculo dos valores das variáveis p e x à esquerda do estágio μ , para o qual se conhece os dados, os coeficientes de participação do lado da saída, $b(i,j,k)$, também foram utilizados.

Apêndice 3Compatibilização dos Dados e Apresentação do Cenário -
-base para 1985

- a) O equivalente energético adotado foi 1000 t EOC (mil toneladas de equivalente óleo cru), sendo o poder calorífero de referência para o óleo cru de 8 944 Kcal/Kg. Em relação ao equivalente energético adotado pela MEB, tem-se:

$$1000 \text{ Gcal} = 0,1118 \cdot 1000 \text{ t EOC}$$

- b) Os fatores de conversão para o equivalente energético das unidades físicas correspondentes às diferentes formas energéticas são apresentados no Quadro 9. Para as formas de energia consideradas no balanço energético do MME⁴, foi mantido o fator de conversão adotado naquele trabalho. Para as demais, utilizou-se o valor que aparece no relatório da MEB¹⁷.
- c) A configuração para o cenário-base em 1970 foi obtida a partir dos dados da MEB¹⁷ sendo que, para compatibilizá-los com os dados do MME⁴ referentes aos anos posteriores, as seguintes modificações foram introduzidas:
- c.1) Uso dos fatores de conversão especificados no Quadro 9: isto modificou os coeficientes técnicos referentes a transformação de combustíveis em energia elétrica, pois a MEB adotava uma diferente valorização da energia elétrica em relação à energia sob forma de calor.
- c.2) O dado referente à produção de gás natural em 1970 foi alterado de modo a considerar apenas a quantidade efetivamente retirada dos poços de petróleo durante o período, de modo que o coeficiente técnico correspondente fosse compatível com os dados apresentados pelo MME para os anos posteriores.
- d) Os dados obtidos do MME⁴ para os anos posteriores a 1970 foram introduzidos no segundo estágio da representação adotada

Quadro 9

Fatores de Conversão para 1000 t EOC

FORMA ENERGÉTICA	UNIDADE FÍSICA	FATOR DE CONVERSÃO	FONTE DE DADOS
Energia Hídrica, Hidráulica e Elétrica	GWh	0,29	MME
Carvão Vapor	1000 t	0,56	MME
Carvão Metalúrgico e Coque (de carvão)	1000 t	0,69	MME
Petróleo	1000 t	1,15	MME
Gás Natural	10 ⁶ m ³	1,02	MME
Lenha	1000 t	0,37	MME
Bagaço de Cana	1000 t	0,25	MME
Carvão Vegetal	1000 t	0,76	MME
Álcool	1000 t	0,60	MME
Combustíveis para fissão nuclear (urânio)	t Yellow Cake	8,767	MME
Xisto	1000 t	1,07	MME
Gás de Cidade	1000 t	0,481	MEB
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	1000 t	1,330	MEB
Nafta, gasolina automotiva e de aviação	1000 t	1,241	MEB
Óleo diesel, querosene iluminante e de aviação	1000 t	1,219	MEB
Óleo Combustível	1000 t	1,181	MEB
Coque de Petróleo	1000 t	0,950	MEB
Gás de Coqueria	10 ⁶ m ³	0,492	MEB
Gás de Refinaria	1000 t	1,342	MEB
Gás de Alto Forno	10 ⁶ m ³	0,101	MEB

para o setor energético brasileiro no M.S.C.A., feitas as seguintes ressalvas:

d.1) Os dados introduzidos no M.S.C.A. para o gás natural e os derivados de petróleo incluem a quantidade de energia usada para fins não energéticos, o que não ocorre na tabela referente ao balanço energético nacional, apresentada pelo MME⁴.

d.2) O valor introduzido no segundo estágio do M.S.C.A. referente à quantidade de carvão vapor, corresponde à produção dessa forma de energia, e não ao seu consumo.

d.3) O valor que aparece sob o título de "Derivados de Petróleo" na tabela do balanço energético nacional apresentada pelo MME⁴, corresponde à soma da produção com a importação de petróleo, sendo que esses dois títulos aparecem no primeiro estágio do M.S.C.A.

Para a simulação do cenário-base através do M.S.C.A. era necessário obter valores para todos os elementos do segundo estágio. Assim, para preencher o valor referente ao elemento "Derivados de Petróleo", pertencente ao segundo estágio da representação adotada para o setor energético no M.S.C.A., foi efetuado o seguinte cálculo: multiplicação do valor apresentado pelo MME (acrescido ainda da quantidade referente a usos não energéticos, como foi exposto no item d.1) pelo coeficiente técnico de eficiência energética das refinarias de petróleo (usou-se o valor de 96%, obtido a partir dos dados da MEB¹⁷ referentes a 1970).

e) A seguir, é apresentada a configuração resultante para o cenário-base, no ano de 1985 (devido ao grande volume da lista gem completa, foram omitidos os valores referentes aos fluxos e perdas de energia e aos coeficientes de eficiência e participação).

ESTAGIO 1		ESTAGIO 2		ESTAGIO 3		ESTAGIO 4		ESTAGIO 5	
ENERGIA PRIMARIA		ENERGIA FRUTA		FONTES		CATEGORIAS DE DEMANDA		SETORES DE MERCADO	
CODIGO 1.1	ENERGIA HIDRICA	CODIGO 2.1.1	ENERGIA HIDRAULICA	CODIGO 3.1	ENERGIA HIDRAULICA	CODIGO 4.1	ENERGIA HIDRAULICA	CODIGO 5.1	RURAL TOTAL =
VALOR TOTAL =	72535	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	4715
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	14587	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.2	IMPORT. DE EN. HIDRICA	CODIGO 2.1.2	ENERGIA ELETRICA	CODIGO 3.2	ENERGIA ELETRICA	CODIGO 4.2	ENERGIA ELETRICA	CODIGO 5.2	PESCA TOTAL =
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	56348	VALOR TOTAL =	67419	VALOR TOTAL =	70308	VALOR TOTAL =	352
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	13672	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.3	TFMICA DE MARES E RIOS	CODIGO 2.1.3	IMPORT. EN. ELETRICA	CODIGO 3.3	LENHA TOTAL =	CODIGO 4.3	LENHA TOTAL =	CODIGO 5.3	MINERACAO NAO METALICOS
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	25176	VALOR TOTAL =	25176	VALOR TOTAL =	217
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.4	ENERGIA MAREMOTRIZ	CODIGO 2.4	LENHA TOTAL =	CODIGO 3.4	CARVAO VEGETAL	CODIGO 4.4	CARVAO VEGETAL	CODIGO 5.4	MINERACAO DE FERRO
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	25269	VALOR TOTAL =	5364	VALOR TOTAL =	5364	VALOR TOTAL =	301
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	56	PERDAS =	0	PERDAS =	0	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.5	ENERGIA EOLICA	CODIGO 2.5	CARVAO VEGETAL	CODIGO 3.5	BAGACO DE CANA	CODIGO 4.5	BAGACO DE CANA	CODIGO 5.5	MINERACAO DE OUTROS MET.
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	5364	VALOR TOTAL =	5309	VALOR TOTAL =	5309	VALOR TOTAL =	155
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.6	FISSAG NUCLEAR	CODIGO 2.6	EAGRAC DE CANA	CODIGO 3.6	ALCOOL TOTAL =	CODIGO 4.6	ALCOOL TOTAL =	CODIGO 5.6	INDUSTRIA DE CIMENTO
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	5429	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	4886
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-45	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-
PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	VAR. ESTOQUE =	-
CODIGO 1.7	COMBUST. FISSAO	CODIGO 2.7	ACOND TCTAL =	CODIGO 3.7	USOS NAO ENERGETICOS	CODIGO 4.7	USOS NAO ENERGETICOS	CODIGO 5.7	INDUSTRIA DE CERAMICA
VALOR TOTAL =	5545	VALOR TOTAL =	960	VALOR TOTAL =	258	VALOR TOTAL =	258	VALOR TOTAL =	1748
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	8
PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.8	COMBUST. FUSAO NUCLEAR	CODIGO 2.8	USOS NAO ENERGETICOS	CODIGO 3.8	OLEO PESADO	CODIGO 4.8	OLEO PESADO	CODIGO 5.8	INDUSTRIA DE VIDRO
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	849
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	VAR. ESTOQUE =	0
CODIGO 1.9	IMPORT. COMBUST. FUSAO	CODIGO 2.9	OLEO PESADO	CODIGO 3.9	GAS DE ALTO FORNO	CODIGO 4.9	GAS DE ALTO FORNO	CODIGO 5.9	DLARIAS CAIEIRAS
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-
PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	VAR. ESTOQUE =	-

VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	2576	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	1122
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.10		CODIGO 2.11		CODIGO 3.11		CODIGO 4.10		CODIGO 5.10	
LEIJA TOTAL =	34312	GAS DE ALTO FURN	-	SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS	-	SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS	-	INDUSTRIA OUTROS NAQ MET.	450
VAR. ESTOQUE =	0	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0
PERDAS =	3679	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.11		CODIGO 2.11		CODIGO 3.11		CODIGO 4.11		CODIGO 5.11	
CARA DE ACUCAR	6389	SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS	-	CARVAO VAPOR	600	CARVAO VAPOR	600	SIDERURGIA DE FERRO E ACO	1806
VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.12		CODIGO 2.12		CODIGO 3.12		CODIGO 4.12		CODIGO 5.12	
MANDIOCA	-	CARVAO VAPOR	6124	CARVAO METALURGICO	76	CARVAO METALURGICO	76	SIDERURGIA DE FERRO LIGAS	1263
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	2225	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.13		CODIGO 2.13		CODIGO 3.13		CODIGO 4.13		CODIGO 5.13	
BABACU	-	CARVAO METALURGICO	11976	COQUE TOTAL =	8242	COQUE	7727	INDUSTRIA DE ALUMINIO	2186
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	2546	PERDAS =	222	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.14		CODIGO 2.14		CODIGO 3.14		CODIGO 4.14		CODIGO 5.14	
OLEO DE RESIDUOS UREANOS	-	IMPORTACAO DE COQUE	911	GAS DE COQUE	1398	GAS DE COQUE	1153	INDUSTRIA OUTROS NAQ FER.	243
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	154	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.15		CODIGO 2.15		CODIGO 3.15		CODIGO 4.15		CODIGO 5.15	
GAS DE RESIDUOS UREANOS	-	GAS DE AGUA	-	GAS COMPOSTIVEL	-	GAS COMPOSTIVEL	469	INDUSTRIA OUTROS CA MET.	1986
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.16		CODIGO 2.16		CODIGO 3.16		CODIGO 4.16		CODIGO 5.16	
RESIDUOS E SUBPRODUTOS	-	GAS NATURAL	564	METANOL	-	METANOL	-	INDUSTRIA MECANICA E ELE.	1490
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.17		CODIGO 2.17		CODIGO 3.17		CODIGO 4.17		CODIGO 5.17	
CARVAO MINERAL	5605	DERIVADOS DE PETROLEO	73415	GAS NATURAL	564	GAS NATURAL	564	INDUSTRIA MAT. DE TRANSP.	2124
VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	390	VAR. ESTOQUE =	4993	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.18		CODIGO 2.18		CODIGO 3.18		CODIGO 4.18		CODIGO 5.18	
IMPOR. CARVAO MINERAL	8638	IMPOR. DERIV. PETROLEO	-	HIDROGENIO	-	HIDROGENIO	-	INDUSTRIA PETROQUIMICA	2323
VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	-	PERDAS =	0
CODIGO 1.19		CODIGO 2.19		CODIGO 3.19		CODIGO 4.19		CODIGO 5.19	
CARVAO VAPOR	-	PETROLEO	-	GAS DE REFINARIA	-	GAS DE REFINARIA	-	INDUSTRIA ELETRQUIMICA	-

VALOR TOTAL =	3647	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	193	VALOR TOTAL =	94	VALOR TOTAL =	2137
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	129	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.20		CODIGO 2.2		CODIGO 3.20		CODIGO 4.20		CODIGO 5.20	
GAS NATURAL		ENERGIA SOLAR		GAS LIQUEF. DE PETROLEO	4237	GAS LIQUEF. DE PETROLEO	4214	INDUSTRIA CUIROS CA CUIV.	2356
VALOR TOTAL =	664	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	23	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.21		CODIGO 2.21		CODIGO 3.21		CODIGO 4.21		CODIGO 5.21	
IMPORT. GAS NATURAL		ENERGIA NUCLEAR		NAFTA	277	NAFTA	40	INDUSTRIA TEXTIL	3965
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	5845	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	23	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.22		CODIGO 2.22		CODIGO 3.22		CODIGO 4.22		CODIGO 5.22	
PETROLEO		GERACAO ELTRICA DESCENT.		GASOLINA PARA AVIACAO	221	GASOLINA PARA AVIACAO	221	INDUSTRIA PABEL E CELUL.	3626
VALOR TOTAL =	32103	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	1269	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.23		CODIGO 2.23		CODIGO 3.23		CODIGO 4.23		CODIGO 5.23	
IMPORT. PETROLEO		OUTRAS		GASOLINA AUTOMOTIVA	22033	GASOLINA AUTOMOTIVA	21928	INDUSTRIA DE MADEIRA	802
VALOR TOTAL =	44333	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	105	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	1752	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.24		CODIGO 2.24		CODIGO 3.24		CODIGO 4.24		CODIGO 5.24	
OLEO DE XISTO		OUTRAS		QUEROSENE PARA AVIACAO	2282	QUEROSENE PARA AVIACAO	2279	INDUSTRIA ACUCAR E ALCOOL	663
VALOR TOTAL =	2506	VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	3	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.25		CODIGO 2.25		CODIGO 3.25		CODIGO 4.25		CODIGO 5.25	
ENERGIA SOLAR		QUEROSENE ILLUMINANTE		QUEROSENE ILLUMINANTE	1795	QUEROSENE ILLUMINANTE	1775	PADARIAS	1017
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	1795	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	19	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.26		CODIGO 2.26		CODIGO 3.26		CODIGO 4.26		CODIGO 5.26	
OUTRAS		OLEO DIESEL		OLEO DIESEL	17313	OLEO DIESEL	16502	INDUSTRIA CUIROS ALIM.	4053
VALOR TOTAL =	-	VALOR TOTAL =	17313	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	-	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	358	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	-	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.27		CODIGO 2.27		CODIGO 3.27		CODIGO 4.27		CODIGO 5.27	
IMPORTACAO DE OUTRAS		OLEO COMBUSTIVEL		OLEO COMBUSTIVEL	23191	OLEO COMBUSTIVEL	20076	INDUSTRIA DE BEBIDAS	726
VALOR TOTAL =	311	VALOR TOTAL =	23191	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	790	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 1.28		CODIGO 2.28		CODIGO 3.28		CODIGO 4.28		CODIGO 5.28	
COQUE DE PETROLEO		COQUE DE PETROLEO		COQUE DE PETROLEO	89	COQUE DE PETROLEO	39	INDUSTRIA DE BORRACHA	734
VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0
CODIGO 3.29		CODIGO 4.29		CODIGO 5.29		CODIGO 6.29		CODIGO 7.29	
PETROLEO		PETROLEO		PETROLEO		PETROLEO		PETROLEO	
VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0	VALOR TOTAL =	0
VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0	VAR. ESTOQUE =	0
PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0	PERDAS =	0

VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 3.30
 ENERGIA SOLAR
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 4.31
 ENERGIA NUCLEAR
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 5.32
 GERACAO ELETRICA DESCENT.
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 3.33
 OUTRAS
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 4.33
 ENERGIA NUCLEAR
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 5.33
 TRANSPORTE FERROVIARIO
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =
 PERDAS =

CODIGO 5.34
 TRANSPORTE AEREO
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =

CODIGO 5.35
 OUTROS TRANSPORTES
 VALOR TOTAL =
 VAR. ESTOQUE =

* CODIGO : 5.36
 * COMERCIO
 * VALOR TOTAL = 5934
 * VAR. ESTOQUE =

* CODIGO : 5.37
 * PRESTACAO DE SERVICOS
 * VALOR TOTAL = 1574
 * VAR. ESTOQUE =

* CODIGO : 5.38
 * ILUMINACAO PUBLICA
 * VALOR TOTAL = 1865
 * VAR. ESTOQUE =

* CODIGO : 5.39
 * OUTROS SERVICOS PUBLICOS

* VALOR TOTAL = 2232
 * VAR. ESTOQUE =

* CODIGO : 5.30
 * CONSTRUCAO CIVIL
 * VALOR TOTAL = 1266
 * VAR. ESTOQUE =

Apêndice 4

Implementação do Modelo em Computador

No intuito de facilitar o processamento dos dados e permitir a simulação de um grande número de casos em curto espaço de tempo, foi elaborado um programa de computador que resolve as equações do M.S.C.A., a partir do conjunto de dados especificados pelo planejador, e fornece as configurações dos cenários correspondentes às hipóteses testadas.

O programa é essencialmente flexível, permitindo:

- a representação do setor energético através de um número qualquer de estágios e de elementos em cada estágio.
- a manipulação dos valores de todos os coeficientes de eficiência e de participação, na constituição de diferentes cenários para a evolução do setor.
- sua ampliação gradativa, para acompanhar a eventual sofisticação do modelo ditada pelas necessidades do planejador.

Não foi dada ênfase, porém, à otimização do programa em relação ao uso de memória e tempo de computação, e sim à obtenção de um programa didático, de simples utilização e compreensão para o planejador.

Assim, na realização dos testes que simulam os cenários apresentados no Capítulo IV, a execução do programa no sistema IBM/370-165 utilizou:

- um tempo de CPU da ordem de 1 a 2 minutos, de acordo com o número de testes em cada simulação.
- 600 k bytes de memória principal.

O elevado número de posições de memória necessárias para a execução do programa decorre da representação, sob forma de matriz, dos fluxos de energia e perdas entre os elementos de dois estágios consecutivos. Como cada forma de energia só flui, em geral, para um pequeno número de formas de energia do estágio seguinte, nas matrizes resultantes o número de valores não nulos é muito baixo: as simulações efetuadas apresentaram uma

densidade de ocupação dessas matrizes de 18%, em média. Uma nova representação dessas ligações do modelo deverá portanto ser obtida para otimizar o uso de memória principal pelo programa, quando for necessária sua ampliação. Há várias formas de realizar, sem dificuldade, essa modificação, como por exemplo associar a cada forma de energia uma pequena lista dos elementos do estágio seguinte para os quais envia um fluxo não nulo de energia.

A entrada de dados para a utilização do programa, via perfuração de cartões, é descrita detalhadamente no Manual do Usuário, enquanto a explanação de suas instruções, codificadas na linguagem de programação PL/I - F, pode ser consultada através do Manual Técnico. Os dois manuais são publicações da FINEP.

Apêndice 5Listagem de Hipóteses e Resultados daIntrodução de Formas Não Convencionais no Setor Energético Brasileiro

Teste B - Produção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, no setor petroquímico, a partir de eletrólise da água, em lugar da reforma de nafta.

. Condições da Experiência

- 1 instalação para produção de hidrogênio em operação a partir de 1978, e outra até 1985
- capacidade de cada planta introduzida: hidrogênio para produção de 120 t/dia de amônia.
- potência de 1 MW para gerar 182 m³/hora de hidrogênio
- fator de carga: 90%

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na produção de energia hidroelétrica:
126 1000 t EOC ou 435 GWh
- aumento da participação da energia hidroelétrica, no total da energia produzida: 0,058%
- diminuição nas importações de petróleo:
58 1000 t EOC ou 0,130%
- consumo de hidrogênio eletrolítico no setor petroquímico:
25 1000 t EOC
- participação do hidrogênio eletrolítico no total da energia consumida: 0,02%
- diminuição no consumo de nafta, 39 1000 t EOC
- relação entre o aumento na produção de energia hidroelétrica e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,19

Teste C - Produção de metanol a partir de carvão para adição à gasolina automotiva

. Condições da experiência

- eficiência energética global de 30% na produção de metanol a partir de carvão
- instalação de uma planta com capacidade para produção de 2000 t/dia de metanol
- fator de carga: 90%

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na produção de carvão vapor:
1141 1000 t EOC ou 2037 1000 t
- aumento da participação do carvão vapor no total da energia produzida: 0,52%
- diminuição nas importações de petróleo: 380 1000 t EOC ou 0,85%
- participação do metanol no total de gasolina automotiva: 1,57%
- participação do metanol no total da energia consumida: 0,20%
- diminuição no consumo de gasolina automotiva:
345 1000 t EOC
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 3,0

Teste 1 - Substituição de GLP, usado para aquecimento de água no setor doméstico urbano, por energia solar

. Condições da experiência

- eficiência energética global do coletor de energia solar: 40%
- insolação média: 200 W/m²
- substituição de 1% do GLP consumido no setor doméstico urbano em 1985: 39 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985:

- captação de energia solar: 97.5 1000 t EOC
- participação da energia solar no total de energia produzida: 0,04%
- área total dos coletores solares instalados: 581 mil m²
- diminuição nas importações de petróleo:
44 1000 t EOC ou 0,10%
- relação entre a quantidade de energia solar captada e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,23

Teste 3 - Substituição de nafta, na geração de gás de cidade para o setor doméstico urbano, por gás obtido a partir do tratamento de resíduos urbanos

. Condições da experiência

- poder calorífero do lixo urbano: 2500 Kcal/Kg
- proporção de matéria orgânica no lixo: 2/3
- eficiência energética global na transformação de matéria orgânica em biogás: 60%
- fator de carga: 90%
- substituição de 20% da nafta consumida na geração de gás de cidade: 42,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade de lixo processada: 106 1000 t EOC ou 380 1000 t
- participação do processamento de resíduos urbanos no total da energia produzida: 0,05%
- capacidade instalada para processamento de resíduos urbanos: 1157 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo: 50 1000 t EOC ou 0,11%
- relação entre a quantidade de energia nos resíduos urbanos processados e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,12

Teste 4 - Substituição de nafta, na geração de gás de cidade para o setor doméstico urbano, por gás obtido a partir de carvão.

. Condições da experiência

- consumo de 1,44 t de carvão vapor na produção de 1000 Nm³ de gás combustível
- fator de carga: 90%
- substituição de 50% da nafta consumida na geração de gás de cidade: 107 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade de carvão gaseificada:
193 1000 t EOC ou 345 1000 t
- participação da produção adicional de carvão no total da energia produzida: 0,09%
- capacidade instalada para gaseificação de carvão:
30,3 mil Nm³/h
- diminuição nas importações de petróleo:
126 1000 t EOC ou 0,28%
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 1,53

Teste 5 - Substituição de nafta, utilizada no setor petroquímico para obtenção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, através da geração de hidrogênio a partir da eletrólise da água

. Condições da experiência

- potência de 1 MW para gerar 182 m³/hora de hidrogênio
- fator de carga: 90%
- substituição de 50% da nafta consumida no setor petroquímico:
19,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na produção de energia hidroelétrica:
53 1000 t EOC ou 217 GWh
- aumento da participação da energia hidroelétrica no total da energia produzida: 0,029%
- capacidade instalada para produção de amônia:
60 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo:
29 1000 t EOC ou 0,065%
- relação entre o aumento na produção de energia hidroelétrica e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,19

Teste 6 - Substituição de nafta, utilizada no setor petroquímico para obtenção do hidrogênio necessário à síntese da amônia, através da geração de hidrogênio a partir de carvão

. Condições da Experiência

- consumo de 3,66 t de carvão vapor por tonelada de amônia produzida
- fator de carga: 90%
- substituição de 50% da nafta consumida no setor petroquímico:
19,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade de carvão gaseificada:
41 1000 t EOC ou 73 1000 t
- participação da produção adicional de carvão no total da energia produzida: 0,035%
- capacidade instalada para produção de amônia:
60 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo:
29 1000 t EOC ou 0,065%
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob a forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 1,42

Teste 7 - Substituição de óleo diesel, usado na geração de energia elétrica para o setor rural, por energia eólica

. Condições da experiência

- eficiência energética global de 40% na captação de energia eólica
- fator de carga: 30%
- 5% da energia elétrica do setor rural gerada a partir de energia eólica: 9,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- captação de energia eólica: 24 1000 t EOC
- participação da energia eólica no total da energia produzida: 0,01%
- potência instalada de geradores eólicos: 12,5 MW
- diminuição nas importações de petróleo: 16 1000 t EOC ou 0,036%
- relação entre a quantidade de energia eólica captada e a quantidade de energia no petróleo substituído: 1,50

Teste 8 - Substituição de Óleo diesel, usado na geração de energia elétrica para o setor rural, por energia hidroelétrica obtida de usinas tubulares (bulbo)

. Condições da experiência

- eficiência energética global de 80% na captação de energia hídrica
- fator de carga: 55%
- 5% da energia elétrica do setor rural gerada a partir de microhidroelétricas: 9,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na captação de energia hídrica:
41 1000 t EOC
- aumento da participação da energia hídrica no total da energia produzida: 0,019%
- potência instalada de usinas bulbo:
6,85 MW
- diminuição nas importações de petróleo:
56 1000 t EOC ou 0,126%
- relação entre o aumento na captação de energia hídrica e a quantidade de energia no petróleo substituído: 0,73

Teste 9 - Adição de álcool obtido a partir de cana de açúcar à gasolina automotiva

. Condições da experiência

- produção de 45 t de cana de açúcar por hectare
- produção de 67 ℓ de álcool por tonelada de cana de açúcar
- 1% de álcool no total da gasolina automotiva consumida:
219 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade adicional de cana de açúcar processada para fins energéticos: 2579 1000 t EOC ou 6900 1000 t
- aumento da participação da cana de açúcar no total da energia produzida: 1,18%
- área necessária para o plantio da cana de açúcar: 153 mil hectares
- diminuição nas importações de petróleo:
244 1000 t EOC ou 0,55%
- relação entre a quantidade de energia da cana de açúcar processada e a quantidade de energia no petróleo substituído:
10,55

Teste 10 - Adição de metanol obtido a partir de carvão à gasolina automotiva

. Condições da experiência

- eficiência energética global de 30% na produção de metanol a partir de carvão
- fator de carga: 90%
- 5% de metanol no total da gasolina automotiva consumida:
1096 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na produção de carvão vapor:
3620 1000 t EOC ou 6464 1000 t
- aumento da participação do carvão vapor no total da energia produzida: 1,66%
- capacidade instalada para produção de metanol:
6350 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo:
1206,5 1000 t EOC ou 2,71%
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 3,0

Teste 11 - Substituição de Óleo combustível, usado no se tor petroquímico, por álcool obtido a partir da cana de açúcar

. Condições da experiência

- produção de 45 t de cana de açúcar por hectare
- produção de 67 l de álcool por tonelada de cana de açúcar
- substituição de 10% do Óleo combustível consumido no setor pe troquímico: 111 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade adicional de cana de açúcar processada para fins e nergéticos:

1307 1000 t EOC ou 3500 1000 t

- aumento da participação da cana de açúcar no total da energia produzida: 0,60%

- área necessária para o plantio da cana de açúcar:

77,8 mil hectares

- diminuição nas importações de petróleo:

126 1000 t EOC ou 0,28%

- relação entre a quantidade de energia da cana de açúcar pro cessada e a quantidade de energia no petróleo substituído:

10,39

Teste 12 - Substituição de Óleo combustível, usado no se tor petroquímico, por metanol obtido a partir de carvão.

. Condições da experiência

- eficiência energética global de 30% na produção de metanol a partir de carvão
- fator de carga: 90%
- substituição de 20% do Óleo combustível consumido no setor pe troquímico: 222 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- aumento na produção de carvão vapor:
733 1000 t EOC ou 1308 1000 t
- aumento da participação do carvão vapor no total da energia produzida: 0,34%
- capacidade instalada para produção de metanol: 1290 t/dia
- diminuição nas importações de petróleo:
244 1000 t EOC ou 0,55%
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,94

Teste 13 - Substituição de óleo combustível, usado para fins de produção de calor no setor industrial, por energia solar

. Condições da experiência

- eficiência energética global do coletor de energia solar:
40%
- insolação média: 200 W/m²
- substituição de 1% do óleo combustível consumido no setor industrial: 148,5 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- captação de energia solar: 371 1000 t EOC
- participação da energia solar no total da energia produzida:
0,17%
- área total dos coletores solares instalados:
2,2 milhões de m²
- diminuição nas importações de petróleo:
168 1000 t EOC ou 0,38%
- relação entre a quantidade de energia solar captada e a quantidade de energia no petróleo substituído: 2,21

Teste 14 - Substituição de óleo combustível, utilizado na indústria de cerâmica, por gás obtido a partir de carvão

. Condições da experiência

- consumo de 1,44 t de carvão vapor no produção de 1000 Nm³ de gás combustível
- fator de carga: 90%
- substituição de 20% do óleo combustível consumido na indústria da cerâmica: 141 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade de carvão gaseificada:
254 1000 t EOC ou 454 1000 t
- participação da produção adicional de carvão no total da energia produzida: 0,12%
- capacidade instalada para gaseificação de carvão:
40 mil Nm³/h
- diminuição nas importações de petróleo:
160 1000 t EOC ou 0,36%
- relação entre a quantidade adicional de energia produzida sob forma de carvão e a quantidade de energia no petróleo substituído: 1,59

Teste 15 - Substituição de lenha, usada para secagem de grãos no setor rural, por energia solar

. Condições da experiência

- eficiência energética global do coletor de energia solar:
40%
- insolação média: 200 W/m²
- substituição de 10% da lenha consumida no setor rural:
360 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- captação de energia solar: 900 1000 t EOC
- participação da energia solar no total da energia produzida:
0,41%
- área total dos coletores solares instalados:
5,3 milhões de m²
- relação entre a quantidade de energia solar captada e a quantidade de energia na lenha substituída: 2,50

Teste 16 - Substituição de lenha, utilizada no setor rural, por gás obtido a partir de resíduos agrícolas

. Condições da experiência

- poder calorífico dos resíduos agrícolas: 2500 Kcal/Kg
- eficiência energética global na produção de biogás a partir de resíduos agrícolas: 60%
- fator de carga: 90%
- substituição de 10% da lenha consumida no setor rural:
360 1000 t EOC

. Resultados obtidos para o ano de 1985

- quantidade de resíduos agrícolas processada:
600 1000 t EOC ou 2147 1000 t
- participação do processamento de resíduos agrícolas no total da energia produzida: 0,28%
- capacidade instalada para processamento de resíduos agrícolas:
6536 t/dia
- relação entre a quantidade de energia nos resíduos agrícolas processados e a quantidade de energia na lenha substituída:
1,67