

UM ESTUDO SOBRE MODELOS DE
ENERGIA E SUAS APLICAÇÕES

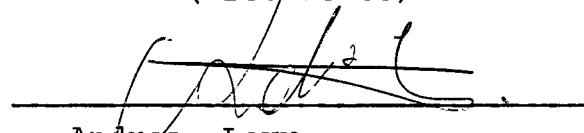
Ezequias Gonçalves Costa Filho

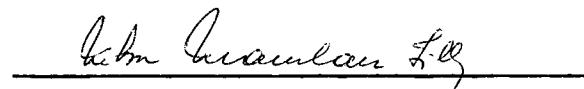
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

Aprovada por:


Clóvis Caesar Gonzaga

(Presidente)


Andreia Levy


Nelson Maculan Filho

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 1979

COSTA FILHO, EZEQUIAS GONÇALVES

Um estudo sobre modelos de energia e suas aplicações
[Rio de Janeiro] 1979.

IX, 150p. 29,7 cm (COPPE - UFRJ, M.Sc, Engenharia de Sistemas, 1979)

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

I. Modelos de Energia I. COPPE/UFRJ II. Título
(Série)

A minha esposa,
Ana Elisa,
que também considera ininte-
ligível o "criptograma de
Wagner": $\frac{1}{\xi} \rightarrow \infty$

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Clóvis Gonzaga, cuja orientação paciente e segura me foi indispensável para a transformação de uma idéia vaga nesta tese.

Ao Andrea Levy, amigo e sempre professor, que me introduziu no tema e me deu grande apoio e incentivo.

Ao Prof. Nelson Maculan, que me orientou no inicio do trabalho.

A meus pais, por sua distante e entusiasmada torcida.

A Silvia Abreu pela eficiente e risonha ajuda na obtenção do material bibliográfico; ao Dr. Adolfo Busse que me deu acesso aos arquivos da Matriz Energética Brasileira; ao Dr. Eduardo Marques, que forneceu material e sugestões preciosos; ao Prof. Adilson Oliveira, que também forneceu material importante.

A Suely, pela excelente datilografia deste trabalho.

SUMÁRIO

Inicialmente é feita uma rápida descrição da evolução do consumo de energia pela sociedade e de diversos aspectos do interrelacionamento entre o consumo de energia e a economia e sociedade.

O consumo de energia no Brasil é analisado quanto à sua evolução e estrutura, por fontes de energia e setores da economia. São ainda descritas as potencialidades de recursos no país.

A questão de modelagem é discutida, envolvendo as técnicas e suas aplicações.

Diversos modelos de energia elaborados no exterior são discutidos e analisados, com enfase em sua aplicação à política energética: BESON, TESON, MARKAL, Input-Output(Brookhaven), ETA-MACRO, MEDEE, Input-Output (Brandeis), SIMCRED, SIMA e Modelos de MESAROVIC.

São também discutidos e analisados modelos elaborados no Brasil. A Matriz Energética Brasileira tem destaque especial. Constam ainda o modelo MSCA e o envolvimento do autor com aquele modelo, o "Modelo Energético Brasileiro" e uma breve descrição de trabalhos em universidades.

ABSTRACT

A brief description of the evolution of the energy consumption by the society is made as well of several aspects of interrelationship of energy consumption and economics and society.

Energy consumption in Brazil is analysed as to its evolution and structure, by sources of energy and economic sectors. Potentialities of energetic resources are also described.

Modelling is discussed including its techniques and applications.

Several energy models made out of the country are discussed and analysed, with emphasis on their applications to energy policy: BESON, TESON, MARKAL, Input-Output (Brookhaven), ETA-MACRO, MEDEE, Input-Output (Brandeis), SIMCRED, SIMA and MESAROVIC Models.

Models elaborated in Brazil are also discussed and analysed, with emphasis on Brazilian Energetic Matrix. Model MSCA is discussed as well as author envolvement with it. Further discussions of Brazilian Energetic Model are presented as well as brief descriptions of research in universities.

ÍNDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE ENERGIA PELA SOCIEDADE	4
II.1 Alguns Conceitos Preliminares de Energia	4
II.2 O Uso de Energia pela Sociedade	6
II.2.1 Breve Visão Evolutiva	6
II.2.2 Como a Sociedade Usa Energia	10
CAPÍTULO III - ENERGIA NO BRASIL	27
III.1 Dados Disponíveis	27
III.2 Evolução no Consumo de Energia no Brasil	28
III.3 Consumo de Energia por Fontes e Setores em 1970	31
III.4 Recursos Energéticos no Brasil	38
CAPÍTULO IV - MODELOS MATEMÁTICOS	48
IV. 1 Sistemas	48
IV.1.1 O Conceito de Sistemas	48
IV.1.2 A Abordagem Sistêmica	49
IV.2 Modelagem Matemática	51
IV.2.1 Porque Constrói-se Modelos Matemáticos	51
IV.2.2 Conceituações de Modelos	51
IV.2.3 Desenvolvimento do Modelo de Simulação	54
IV.2.4 Principais Tipos de Modelos de Simulação Aplicados à Tomada de Decisão	57
IV.3 Perspectivas da Modelagem	60
CAPÍTULO V - MODELAGEM ENERGÉTICA	62
V.1 O Objeto do Estudo	62
V.2 Caracterização Geral	62

V.3 Algumas Experiências	65
V.3.1 Os Modelos do Brookhaven National Laboratory	66
V.3.1.1 BESON - Brookhaven Energy System Optimization Model	67
V.3.1.2 TESON - Brookhaven Time-Stepped Energy System Optimization Model	74
V.3.1.3 MARKAL - Market Allocation Model	75
V.3.1.4 Modelo de Input-Output	77
V.3.2 O Modelo ETA-MACRO, da Stanford University	78
V.3.3 MEDEE - Modele d'Evolution de la Demande D'Energie	81
V.3.4 Modelo de Input-Output para Análise de Problemas Energéticos	87
V.3.5 Modelos Indianos	89
V.3.5.1 SIMCRED - Simulation Model on Cross-Country Regressions for Energy Demand	90
V.3.5.2 SIMA - Simulation for Macroeconomic Scenarios for Energy Demand	92
V.3.6 Modelos de Mesarovic de Demanda de Energia	92
V.4 Política, Planejamento e Modelagem Energética	95
CAPÍTULO VI - MODELAGEM ENERGÉTICA NO BRASIL	98
VI.1 A Matriz Energética Brasileira	98
VI.1.1 Histórico e Premissas da MEB	98
VI.1.2 Organização e Pesquisa de Dados	100
VI.1.2.1 Pesquisa de Dados	100
VI.1.2.2 Matrizes	102
VI.1.3 Modelos Energéticos da MEB	110
VI.1.3.1 Concepção de Política Energética	110
VI.1.3.2 Modelo Geral de Decisão	112
VI.1.3.3 Modelos de Avaliação	115

VI.1.4 Considerações sobre o Projeto	117
VI.2 MSCA - Modelo de Simulação de Cenários Alter <u>nativos</u>	120
VI.2.1 Objetivos do Modelo	120
VI.2.2 Descrição do Modelo	120
VI.2.3 Possibilidades do Modelo	123
VI.3 Descrição de Uma Experiência Pessoal	125
VI.3.1 Caracterização do Problema	125
VI.3.2 Descrição das Soluções	125
VI.3.3 Principal Dificuldade	129
VI.4 Outros Trabalhos	130
VI.4.1 Balanço Energético Nacional	130
VI.4.2 Modelo Energético Brasileiro	131
VI.4.3 Trabalhos na COPPE/UFRJ	132
VI.4.4 Trabalhos no IF/USP	133
BIBLIOGRAFIA	135
APENDICE - Classificação das referências bibliográficas por assunto	147

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

"(...) as importações de petróleo, avaliadas segundo a previsão abaixo de evolução dos preços médios CIF de óleo crú no mercado internacional

1971/1975	US\$ 2,50/barril
1976/1980	US\$ 2,80/barril
1981/1985	US\$ 3,00/barril

As expectativas atuais são de que, com a política agressiva dos países produtores do Oriente Médio coordenada pelo OPEP, esses preços deverão ter uma ascenção muito mais acentuada, havendo estimativas de que cheguem a US\$ 5,00 por barril antes de 1980. (...) O nível de equilíbrio desses preços será difícil estimar, mas de qualquer forma a pressão sobre o balanço de pagamentos dos países importadores de petróleo se tornará quase intolerável".(*)

Estas conclusões foram tiradas em documento da Matriz Energética Brasileira em março de 1973, antes, portanto, do embargo de petróleo pela OPEP. O país parece que não acreditou na Matriç. Hoje os preços já atingem US\$ 23,50 e os efeitos no balanço de pagamentos do Brasil são ainda muito mais fortes do que previu a Matriç. A Matriç Energética Brasileira foi um projeto interministerial, que buscava definir metodologias, modelos e dados, para servir de instrumento de uma política energética brasileira integrada. Foi interrompido em 1973. Ao seu final o projeto deixou um legado de dados, técnicas e análises que, se bem utilizados, seriam de grande importância, como a análise acima reproduzida.

(*) Documento DT-GA.153, do "Relatório Global Preliminar" da Matriz Energética Brasileira

A crença de que a energia precisa ser planejada de forma global, como pretendia a "Matriz", dadas as intensas conexões de transformação e uso de suas diversas formas, e de que a modelagem energética é um importante instrumento para tal planejamento, dada a grande complexidade que assumem a estrutura e o papel dos sistemas energéticas na sociedade atual, são as razões motivadoras deste trabalho.

O trabalho é resultado de um longo estudo bibliográfico, envolvendo energia, planejamento, modelagem e modelos energéticos, assim como de uma experiência concreta em modelagem de energia. Não se buscou, neste relato, apresentar um estudo completo sobre os modelos de energia, mas apenas a descrição e análise de alguns trabalhos importantes no Brasil e no exterior. Os modelos em foco são modelos integrados ou globais, isto é, modelos voltados ao problema energético como um todo e não a apenas uma dada fonte ou forma de energia.

É claro que antes do estudo da aplicação de modelos de energia é necessário entender sua economia, ou como a sociedade utiliza energia. O capítulo II contém uma rápida descrição da evolução do consumo de energia e breve análise do inter-relacionamento entre fontes e formas de energia entre si e com a economia e sociedade. No capítulo III a questão energética brasileira é analisada, envolvendo a evolução de consumo, a estrutura de consumo em 1970, a questão de planejamento energético e as potencialidades de recursos.

O capítulo IV é dedicado a Modelagem. Discute-se o que são abordagem sistêmica e modelos, como são elaborados os modelos, suas possibilidades e limitações e a descrição de técnicas de modelos de simulação.

Descrições de vários modelos de energia são apresentadas no Capítulo V, envolvendo modelos elaborados no exterior. No capítulo VI a Matriz Energética Brasileira é descrita e analisada. Constanam ainda deste capítulo a análise de modelo MSCA, de Emílio La Rovere, a descrição do trabalho do autor no aprimoramento do MSCA, o "Modelo Energético Brasileiro" e a des-

crição breve de dois trabalhos em universidades.

Este trabalho não busca apresentar soluções. É, an-
tes, um estudo sobre o estado da arte em modelagem energética.
Ao seu final o autor permanece acreditando que o problema ener-
gético é tão complexo que não comporta soluções triviais: é ne-
cessário uma visão integrada de energia, para um planejamento
consequente. Os modelos são de grande utilidade para tal propó-
sito.

CAPÍTULO II

O USO DE ENERGIA PELA SOCIEDADE

III.1 ALGUNS CONCEITOS PRELIMINARES SOBRE ENERGIA

É extremamente difícil apresentar um conceito de energia que seja simultaneamente absoluto, preciso e claro. PENNER⁹⁴ e ICERMAN, em seu livro "Energy", afirmam a propósito do significado de energia que "nós realmente não entendemos o que é energia". Sabe-se, no entanto, tratar-se de "entidade física capaz seja de direta associação à matéria, seja de existência independente" CNB-CME¹⁷, isto é, a energia pode apresentar-se na natureza quer sob a forma de massa quer sobre outra forma. Definindo-se energia como a "capacidade de realizar trabalho" é possível, se não compreender com perfeição seu significado, pelo menos medi-la pelo trabalho capaz de realizar.

Para simplificar a linguagem e colocar as definições em forma mais operacional, como são correntemente empregadas, vamos nos restrigir ao longo deste trabalho as definições de energia quanto à fonte ou forma como é utilizada.

A energia potencialmente aproveitável na Terra tem por origens principais a Energia Solar, a Energia Gravitacional e a Energia Nuclear. Derivadas de tais origens a energia se encontra na natureza em diversos estados que podem ser ou diretamente utilizados ou transformados para sua utilização. Denominaremos tais estados de Fontes de energia primária. São elas:

a. Derivadas da energia solar

Petróleo

Carvão Mineral

Gás Natural

Xisto

Energia Hídrica

Biomassa Lenha

Cana de Açúcar

Mandioca

Babaçu, etc

Energia Solar Direta
 Energia Eólica
 Energia Térmica de Mares e Rios
 Energia das Ondas

b. Derivada da energia gravitacional

Energia Maremotriz

c. Derivadas da energia nuclear

Combustíveis de Fissão Nuclear
 Combustíveis de Fusão Nuclear

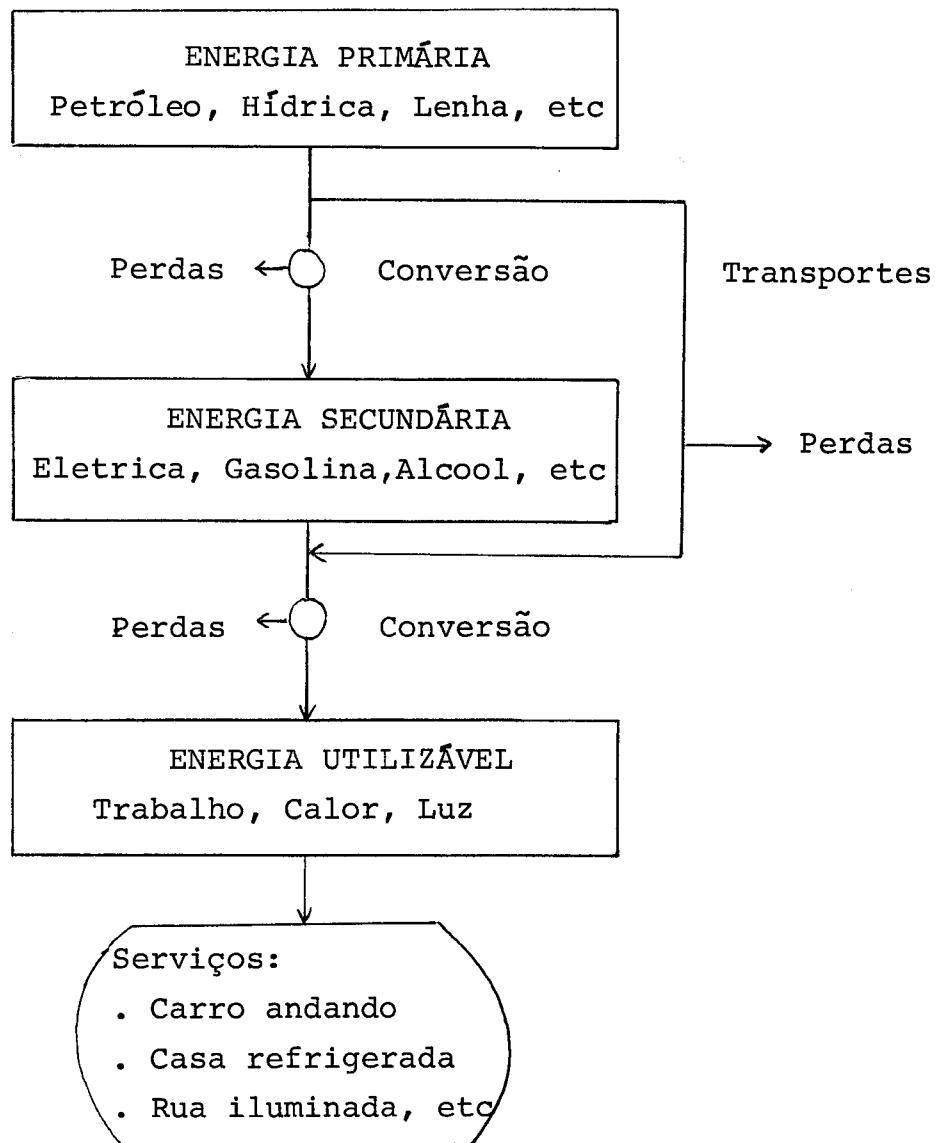
Estas diversas fontes de energia primária muitas vezes são classificadas quanto à sua natureza: em não renováveis quando se encontram estocadas e não é possível renovar o estoque, caso do Petróleo, Carvão Mineral, Gás Natural, Xisto e Combustíveis Nucleares; e em renováveis, caso das demais fontes. Alguns autores classificam as fontes em Comerciais e Não Comerciais, conforme o aproveitamento se dê ou não em instalações centralizadas que as comercializam. Como não comercial destacam-se as fontes genericamente denominadas biomassas.

A conversão de energia primária em outra forma de energia, leva ao que se denomina Energia Secundária. Como exemplos de energia secundária pode ser citado a energia elétrica, gasolina, carvão vegetal, bagaço de cana, álcool, gás de água, etc.

A energia secundária pode ser transformada em Energia Utilizável - a forma adequada para produção de um serviço - trabalho mecânico, calor, luz etc.

O diagrama a seguir esclarece melhor o exposto.

DIAGRAMA II.1: FLUXO DE ENERGIA



II.2 O USO DE ENERGIA PELA SOCIEDADE

II.2.1 BREVE VISÃO EVOLUTIVA

Uma característica marcante no desenvolvimento do homem é o fato de que historicamente esse desenvolvimento tem ocorrido em paralelo a um crescente consumo de energia. À medida que a sociedade avança na utilização da natureza, maior se torna o consumo de energia por indivíduo e, evidentemente, o consumo global, dado o crescimento da população. É muito difícil elaborar cálculos precisos sobre o consumo de energia per capita em estágios anteriores do desenvolvimento da humanidade devido à imprecisão dos dados disponíveis. No entanto, mesmo con-

siderando-se a precariedade das estimativas existentes chama atenção o fato de praticamente todas apontarem curvas de crescimento de consumo de energia aproximadamente exponenciais. COOK tenta mostrar este crescimento em diferentes estagios do desenvolvimento humano. O quadro abaixo traduz suas informações:

QUADRO II.1 - EVOLUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA, SEGUNDO COOK

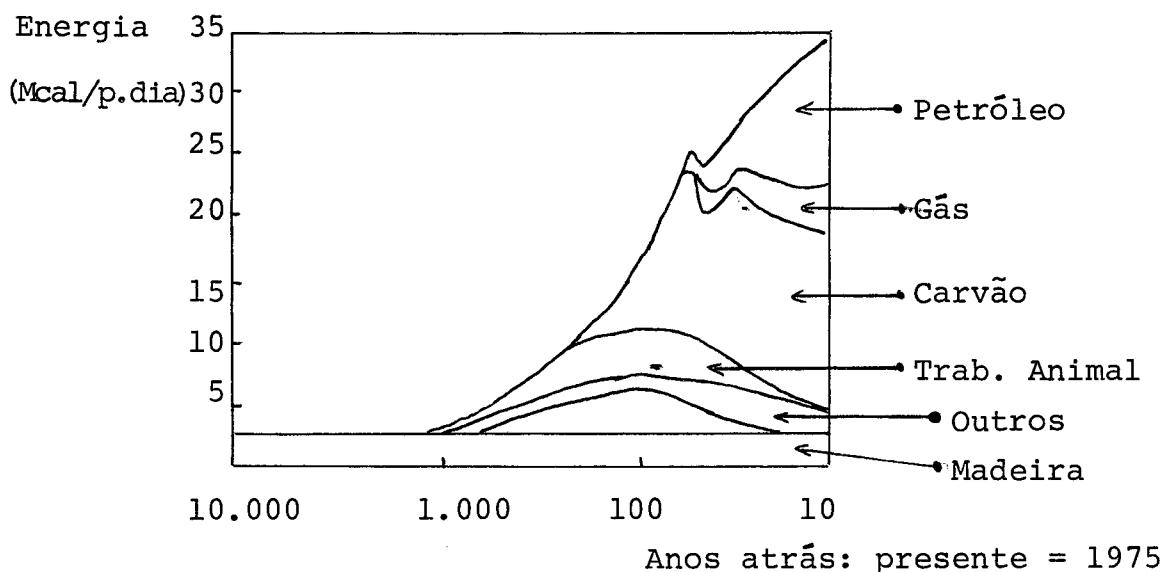
ESTÁGIO DO HOMEM	CONSUMO M.Cal/pessoa.dia	
"Primitivo" - 10^6 anos atrás	2	-
"Caçador" - 10^5 anos atrás	4	Fogo, p/cozinhar e aquecer
"Agrícola Primitivo" - 5.000 A.C.	12	Energia Animal, Uso do Solo
"Agrícola Avançado" - 1.400 D.C.	24	Carvão, Forçad'Água, transf. animal
"Industrial" - 1.850	70 (Inglat.)	Maq. a Vapor, Indústrias (rev.industrial)
"Tecnológico" - 1.970	230 (EUA)	

Fonte: "The Flow of Energy in an Industrial Society" Earl Cook,²⁰ Scientific American (Sep 1971)

Há indícios de que os dados apresentados são super estimados, principalmente para os estagios anteriores ao "tecnológico", pois o consumo brasileiro em 1977 foi de 26,6 M Cal/pessoa.dia, que estaria abaixo do consumo da Inglaterra na revolução industrial e corresponderia, segundo tais cálculos, ao do homem na época do descobrimento! Mas o fato dos dados estarem super estimados para os estagios anteriores acentua mais ainda a evidência de um crescimento galopante no consumo per capita.

Outro autor, STARR¹¹⁰, apresenta estimativas aparentemente mais realistas e que são traduzidas no gráfico a seguir:

GRÁFICO II.1: CONSUMO PER CAPITA DE ENERGIA NO MUNDO, SEGUNDO STARR



FONTE: "Energy and Society" - Channcey Starr¹¹⁰

O gráfico mostra, em escala mundial, o consumo total e das diversas fontes, podendo ser tecidas algumas observações. As denominadas fontes de energia não comerciais (Madeira, trabalho animal, etc) tiveram seu apogeu no século passado mas progressivamente cederam vez às fontes ditas comerciais, os combustíveis fósseis, que dominam o cenário mundial nos dias presentes. O carvão foi o primeiro combustível fóssil a ser utilizado, e tornou-se nos últimos cem anos a principal fonte de energia do mundo. Depois o Petróleo e Gas Natural passaram a serem utilizadas. Nos últimos 70 anos o crescimento no consumo per capita foi de 120%, tendo havido um decrescimo temporário, por volta da grande crise econômica dos anos trinta.

Durante muito tempo a madeira prevaleceu devido a sua abundância e facilidade de uso em relação às necessidades da época, como cozinhar, aquecer etc. Havia tanta disponibilidade que as preocupações com eficiência de conversão eram mínimas. Com o crescimento da demanda por energia a madeira foi-se tornando mais difícil em alguns países e teve que ser substituída

por outras fontes. A substituição não se deu de forma totalmente espontânea, como assinala Starr, pois apesar da maior facilidade de transporte do carvão em relação à madeira, levou-se décadas para que os usuários de madeira optassem pelo carvão. Em 1860 o carvão era o combustível dominante na Inglaterra, só vindo a sê-lo nos Estados Unidos por volta de 1900 devido à abundância de madeira. (É interessante observar que a carência de combustível tem forte influência na busca de eficiência: antes do final do século passado o aquecimento doméstico nos Estados Unidos era realizado com madeira, a um rendimento de 5 a 10%, enquanto a Inglaterra aquecia as residências com carvão em uma eficiência de 15% e na Rússia era tal o custo do combustível que foram projetados aquecedores com rendimento de 30%. O desperdício de energia nos Estados Unidos foi tal que o consumo per capita em 1880 era semelhante ao atual, apesar de hoje um cidadão obter uma quantidade de serviços muito maior com a mesma quantidade de energia). A entrada do carvão no cenário mundial se deu com o início da revolução industrial e isto era inevitável tanto por suas vantagens de disponibilidade nos países que lideravam o processo de industrialização como por seu poder calorífico, da ordem de 7.000 M cal/t contra cerca de 3.000 M cal/t da lenha. O Petróleo inicialmente foi utilizado como fonte para o óleo de iluminação, mas por volta de 1900 seu uso como combustível para a indústria e transportes começou a crescer. O desenvolvimento da máquina de combustão interna aliada ao do gerador elétrico, provocam um impacto social espetacular: industrialização da agricultura, incremento na industria devido à facilidade e flexibilidade da nova fonte energética (também utilizada para gerar eletricidade), expansão dos sistemas comerciais de transportes, e extraordinária mobilidade individual surgida com o automóvel. As consequências do avanço foram, por outro lado, um crescimento no consumo individual jamais visto: nos últimos setenta anos o consumo individual no mundo cresceu em cerca de 120% - até 1900 levou-se dez vezes aquele tempo, cerca de 700 anos, para atingir um crescimento de tal magnitude.

O gás natural, não criou maiores opções. Sua utilização como combustível é suplementar e substitutiva ao carvão e petróleo, mas sua entrada em cena não chegou a provocar gran-

de mudança nos hábitos da sociedade, segundo STARR¹¹⁰

A energia elétrica foi também responsável por grandes mudanças. Não se trata de uma fonte energética - forma - podendo ser gerada de alguma fonte, como petróleo ou energia hídrica, transmitida, distribuída e convertida em trabalho, calor ou luz. O desenvolvimento de grandes geradores elétricos trouxe enorme facilidade às indústrias e ao atendimento domiciliar. A energia hídrica, aproveitamento da energia potencial gravitacional da água (principalmente em rios), é outra importante fonte energética nos países onde é abundante, tendo facilitado nestes países a expansão do parque gerador de energia elétrica.

Ao longo do tempo os fatores essenciais na mudança no uso de uma dada fonte de energia tem sido, naturalmente, a disponibilidade da fonte e a existência de tecnologia para seu aproveitamento apropriada aos condicionantes econômicos da época. Estas mudanças não têm ocorrido até pouco tempo atrás a partir de um racionalismo prévio, ou planejamento de ponto de vista energético, mas como consequências naturais da evolução do homem no domínio da natureza. Atualmente as condições são diferentes pois o uso crescente da energia, do modo como ocorre, tem levado a uma violenta redução dos recursos energéticos não renováveis tornando vital a definição de estratégias visando sua substituição. O uso da energia na sociedade atual é tão complexo e interrelacionado com a estrutura econômica e social, como será visto adiante, que parece não ser mais viável um processo de mudança natural, mas intencionalizado e racionalizado em uma visão global do problema energético, e deste na sociedade como um todo.

II.2.2 COMO A SOCIEDADE USA ENERGIA

O DIAGRAMA (II.1) mostrou de forma esquemática as transformações por que passa a energia até seu uso na sociedade. A conversão de Energia Primária em Energia Secundária geralmente é realizada em unidades grandes, centralizadas e relativamente eficientes, como refinarias de Petróleo, Usinas Hidre-

létricas, Usinas de Gaseificação de Carvão, etc. Essas unidades estão voltadas para a geração de energia comercial. Por suas características de porte e objetivo comercial as conversões são tão eficientes quanto permite o nível tecnológico e as limitações das leis da termodinâmica. Já a conversão de energia secundária em energia útil é feita de forma totalmente descentralizada, em milhões de "dispositivos" utilizadas pela sociedade como o fogão, a lâmpada, o reator, o aparelho de condicionamento de ar, etc. Fazendo parte da infraestrutura econômica social a um nível tão desagregado, o uso destes dispositivos como meios de conversão não é tão eficiente, mas também extremamente difícil de ser entendido pois está associado aos padrões de consumo da sociedade. Desta forma se justifica o fato das políticas energéticas estarem geralmente voltadas ao lado da oferta de energia, pois mudanças ao nível da demanda são tão difíceis quanto demoradas, (HAEFELE⁴⁰). Deve-se acrescentar ainda, para tornar mais patente as dificuldades de entendimento da demanda energética, que o uso de energia proporciona um serviço mas não é o serviço em si: manter uma mesa de estudos bem iluminada (um serviço) não depende apenas do uso de energia elétrica na lâmpada, mas das dimensões e côr do escritório e da distância da lâmpada à mesa. HAEFELE , a esse propósito faz a seguinte conceituação: "informação significa os inputs para adquirir um determinado comportamento" (mesa iluminada, quarto aquecido, etc); "serviço de energia significa transpor o uso de energia ao nível de informação".

Estatísticas sobre energia no mundo não são sempre confiáveis, havendo constantemente conflitos entre os dados encontrados em publicações existentes, e isto por varias razões: a) muitos países não dispõem ou divulgam estatísticas sobre o consumo de energia comercial; b) não é facil estimar o consumo de energia não comercial, largamente utilizada em países em desenvolvimento -justamente os que têm maiores falhas nos sistemas de estatísticas; c) não há ainda padronização adequada para medição em energia, havendo conflito entre os sistemas estatísticos quanto a conceitos de reservas aproveitaveis, unidades comuns, etc. De qualquer forma os dados servem para mostrar o "panorama" energético no mundo.

O consumo de energia no mundo pode ser visualizado no quadro abaixo:

**QUADRO II.2 ESTIMATIVAS DE CONSUMO ENERGÉTICO
NO MUNDO, EUA E BRASIL**

Em 10^9 t.E.P(*)/ANO

ANO	MUNDO			EUA			BRASIL			C/P
	CONSUMO	POP	C/P	CONSUMO	POP	C/P	CONSUMO	POP		
1970	5.04	4×10^9	1.26	1.453	2×10^9	7.3	.0611	$.0921 \times 10^4$.65	
2000	44.1	7×10^9	6.3	3.36	3×10^9	11.2	.342	$.201 \times 10^9$	1.7	
2050	126	10×10^9	12.6	6.3	9×10^9	15.7	(...)	

Fontes: "Energy", Penner and Icerman - Addisson - Wesley⁹⁴

- Balanço Energetico Nacional - MME - 1978⁸⁰

- Anuário Estatístico do Brasil 1977 - IBGE⁵⁶

O consumo de energia em 1970 apresenta algumas características importantes. A média mundial de consumo anual de energia per capita situa-se em torno de 1,26 toneladas em equivalente de petróleo, sendo nos Estados Unidos a média de 7,3 T.E.P. e no Brasil 0,65 tep. Estados Unidos e Brasil apresentam padrões tão distantes no consumo de energia quanto em suas estruturas econômicas. Um cidadão americano, em média, consome quase seis vezes mais que a média no mundo, é onze vezes mais que o consumidor médio brasileiro, o qual por sua vez consome cerca da metade da média mundial. Os Estados Unidos, com 5% da população do mundo participa em 29% da energia gasta na terra. Nas estimativas para os anos 2000 e 2050 está presente, um crescimento do consumo per capita. Como explicar tais dados?

Em primeiro lugar é necessário informar que as diferenças apontadas entre Brasil, EUA e Mundo não são características apenas destes países. GOLDEMBERG³¹ apresenta as seguin

(*) TEP - tonelada equivalente de petroleo

(...) Sem estimativas

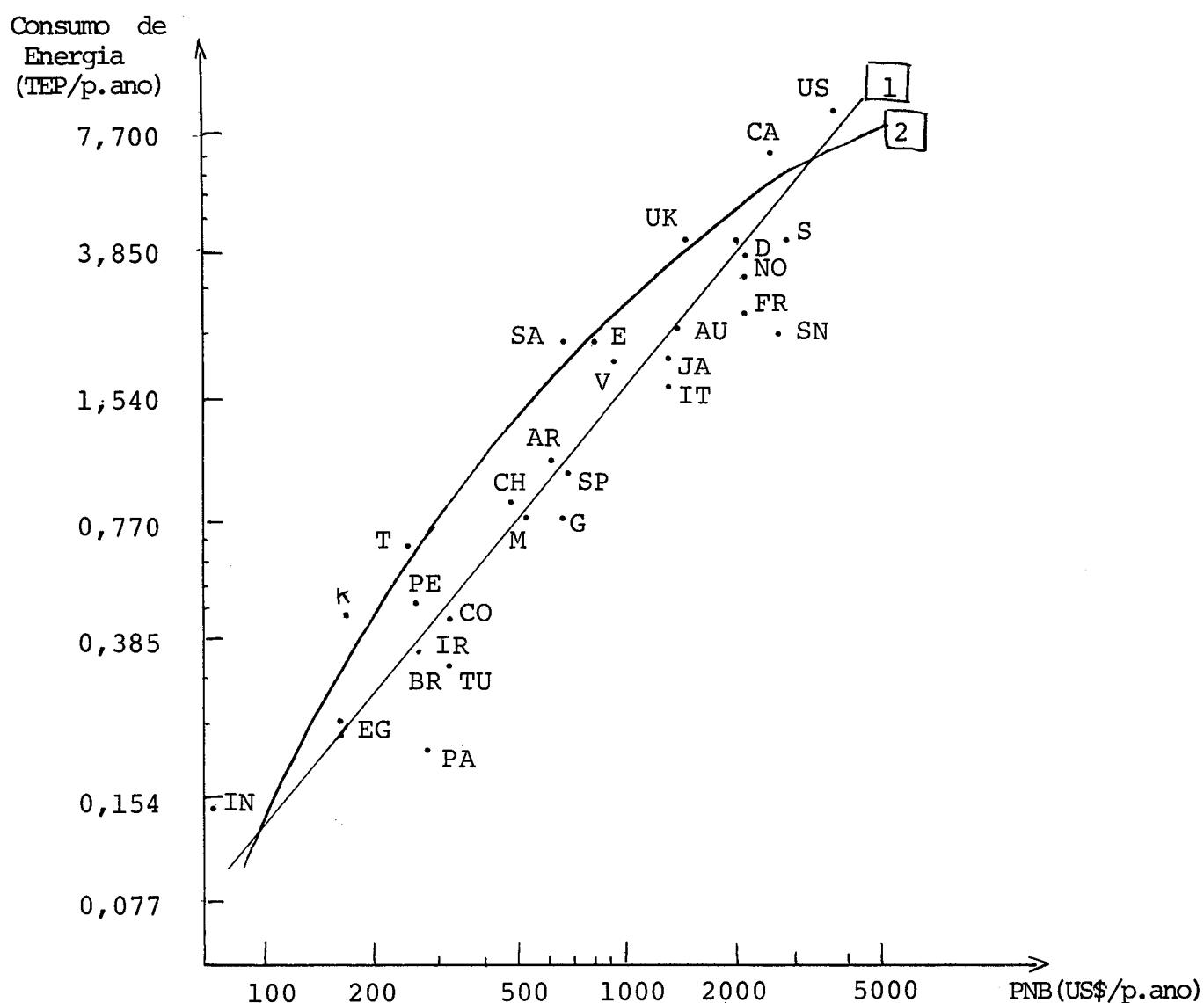
tes estimativas de consumo per capita, por ano: países desenvolvidos - 4,5 TEP; países em desenvolvimento - 0,73 TEP; países de renda média (renda anual entre US\$ 200 e US\$ 2.000) - 0,5 TEP; Países de baixa renda (abaixo de US\$ 200) - 0,14 TEP. Como se observa há uma relação entre o nível de desenvolvimento econômico de uma sociedade e o consumo de energia de seus cidadãos: quanto mais desenvolvida a nação maior a tendência ao consumo de energia. No Ocidente o desenvolvimento econômico ocorre em associação com um crescente aumento na oferta de serviços à sociedade, serviços estes que provocam um maior uso individual de energia. Alguns interpretam que o incremento de tais serviços corresponde à melhora no "nível de vida". Quer dizer, com um aumento em sua renda individual o cidadão passa a utilizar mais as opções que o progresso lhe oferece, buscando uma vida mais agradável: um automóvel mais veloz (e consumidor), refrigeração, TV, um fogão maior, etc. A discussão em torno do tema é, no entanto, longa e um pouco fora de escopo deste trabalho. Parece-nos, contudo, que esta é uma visão segundo a qual uma sociedade quanto mais rica e abundante será necessariamente desperdiçadora - e isto, veremos, não é sempre verdade (ao menos sob o ângulo da energia).

No gráfico (II.2) está plotado em escala log - log o consumo de energia per capita contra o PNB per capita.

Este gráfico é clássico na análise econômica da energia, pois relaciona o consumo energético à produção do país. É grande o número de autores que se utilizam da figura para mostrar o acoplamento entre o uso de energia ao restante da economia e em particular citamos as referências PENNER⁹⁴, COOK²⁰, GOLDEMBERG³¹, MAINGUY⁷¹. Algumas considerações importantes merecem ser feitas: (i) Há uma correlação, ainda que grosseira, entre o consumo de energia per capita por ano e a renda per capita. A plotagem em escala log-log leva à suposição de uma correlação muito grande, o que não chega a ser verdade.

(ii) Usando dados de 1969 de 52 países, PENNER⁹⁴ e Icerman apresentam uma

GRAFICO II.2: RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA PER CAPITA E O PNB PER CAPITA - 1968



FONTE: A.J. Surrey e A.J. Bramley, "Energy Resources", Futures 5,90 - 107 (1973), in PENNER⁹⁴

Os simbolos identificam os seguintes países:

A - Austria	EG - Egito	K - Coreia do Sul	SP - Espanha
AR - Argentina	F - Finlândia	M - México	SW - Suíça
AU - Austrália	FR - França	H - Holanda	T - Taiwan
BR - Brasil	G - Grécia	NO -	TU - Turquia
CA - Canadá	IA - Indonésia	PA - Paquistão	UK - Reino Unido
CH - Chile	IN - Índia	PE - Peru	US - Est. Unidos
CO - Colômbia	IR - Irã	PH - Filipinas	V - Venezuela
D - Dinamarca	IT - Itália	S - Suécia	WG - Aleman.Ocid.
E -	JA - Japão	SA - Af. do Sul	

função exponencial relacionando renda per capita e consumo de energia per capita:

$$\text{PNB US\$/pessoa-ano} = 0,54 [\text{Consumo de Energia KWH/p.a.}]^{0,8}$$

- (iii) Para países com rendas per capita muito próximas há variações no consumo de energia per capita. Isto reflete as diferenças em suas estruturas de consumo energético e mostra grosseiramente que em um dado estágio de desenvolvimento (admitindo que o indicador renda per capita reflita o estágio de desenvolvimento) uma economia pode manter sua produção com um consumo menor de energia. Nota-se que para um mesmo PNB per capita de US\$ 2.400,00, aproximadamente, a Suíça teve em 1968 um consumo de 3,8 TEP/pessoa -ano enquanto o Canadá gastou 6,9 TEP/pessoa-ano.
- (iv) Não faz muito sentido comparar diretamente os consumos per capita de cada país, mas só se levada em conta a estrutura de sua economia. Note-se que quanto mais abaixo um país estiver da curva de correlação mais eficientemente ele usa energia para produzir.
- (v) É claro que outros aspectos devem ser analisados quando comparados os consumos de energia entre países para que se possa entender adequadamente a razão entre discrepâncias. Características dos sistemas produtivos, nível de urbanização, clima, etc. são fatores que influem decisivamente no consumo de energia.

(vi) Leve-se ainda em conta que a ausência de energia comercial nas estatísticas pode distorcer muito a análise de tais dados.

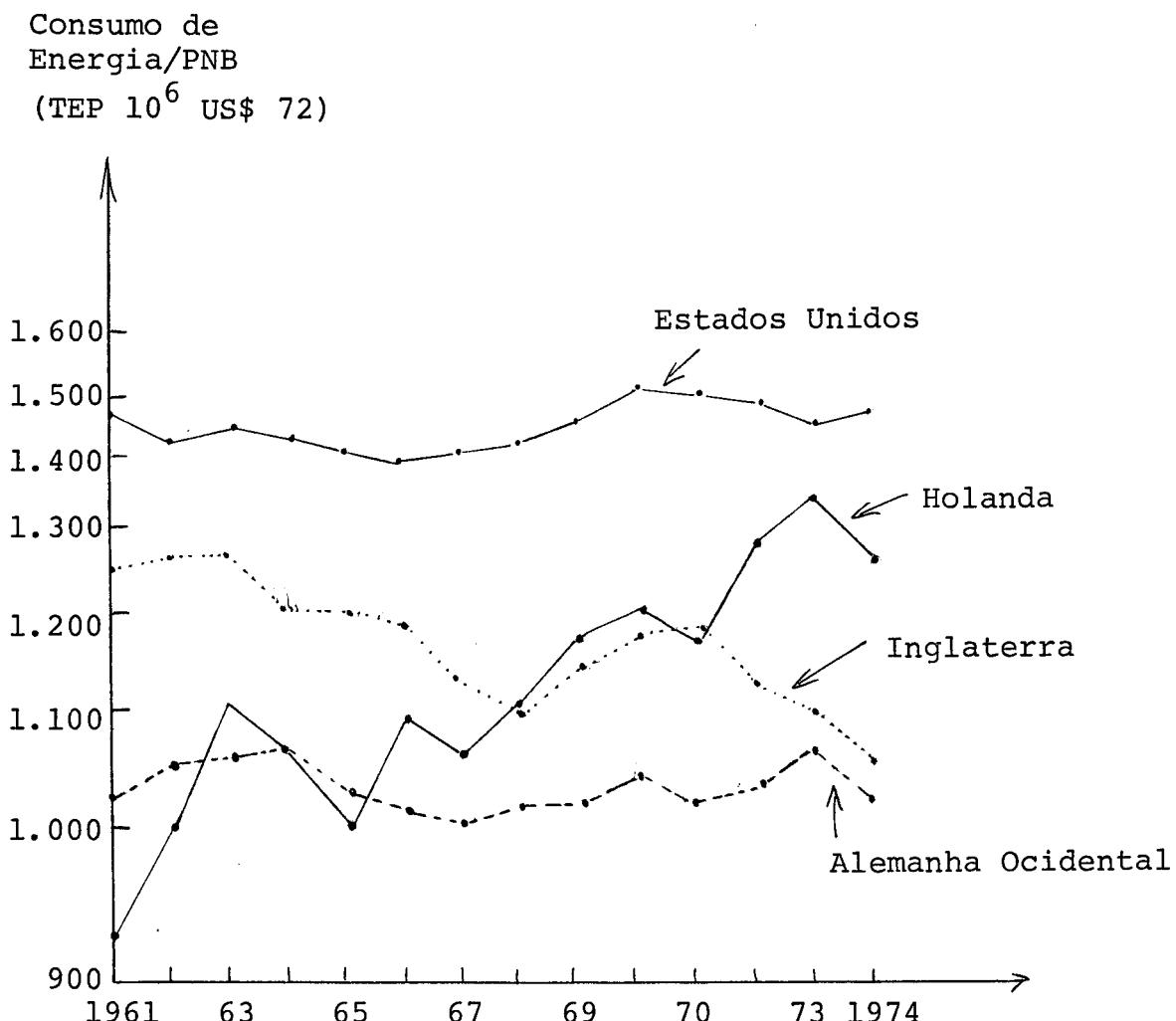
Mesmo com as advertências acima cabe atentar para um fato bastante importante. Os países subdesenvolvidos em suas relações comerciais com os mais desenvolvidos geralmente exportam produtos primários em troca de produtos industrializados e tecnologia. Ora, imbutidas nestas importações está uma larga com ponente cultural que reflete o comportamento de uma sociedade mais rica face ao consumo (mais intensivo em energia) e os países menos desenvolvidos passam a consumir imitando os mais desen volvidos (que consomem mais energia por indivíduo), isto é, to-
mam por meta atingir padrões de vida - e dispêndios de energia - inadequados às suas condições. Como argumenta GOLDEMBERG³¹ os países menos desenvolvidos devem planejar energia buscando um crescimento no consumo que torne o nível de vida da população mais satisfatório, porém este consumo deve estar de acordo com suas possibilidades - que evidentemente estão aquém das dos desenvolvidos.

A relação entre o consumo de energia e o PNB é constantemente utilizado em comparações entre países, conforme mostra o gráfico (II.3).

Nas comparações entre Energia/PNB deve-se levar em conta a estrutura industrial do país, pois alguns produtos são particularmente intensivos em energia, como aço, alumínio, cimento, papel e plásticos. Assim, este indicador deve ser analisado com muito cuidado face aos dois elementos da relação serem grandes agregados que não permitem observar toda a estrutura econômica e do sistema de energia - que, enfim, o explicam. A mesma observação é válida para os demais indicadores agregados de energia: estes indicadores são índices resumidos, não a explicaçāo das situações que medem.

Num interessante estudo comparativo, "HOW INDUSTRIAL SOCIETIES USE ENERGY - A COMPARATIVE ANALYSIS"

GRÁFICO II.3: RELAÇÃO CONSUMO DE ENERGIA (TEP)/PNB (10^6 US\$ 72)
EM ALGUNS PAÍSES



FONTE: "HOW INDUSTRIAL SOCIETIES USE ENERGY - A Comparative Analysis", DARMASTADTER²³, Dunkerley e Alterman.

DARMSTADTER²³, Dunkerley e Alterman apontam as principais razões para uma taxa alta de Energia/PNB em um dado país:

- Baixos preços e custos relativos de combustíveis e energia elétrica
- Alto volume de passageiro - km relativos ao PNB
- Baixa economia de combustíveis na frota por veículos - passageiro
- Baixa relação entre transportes públicos e o total de transportes

- Alto volume de carga (ton - km) com relação ao PNB
- Baixa proporção de rodovias, óleo-dutos e hidrovias no total de transportes de carga
- Grande tamanho de unidades residenciais
- Grande parcela de unidades residenciais individuais
- Clima frio
- Grande importância proporcional de indústrias extractivas e manufatureiras
- Setor industrial intensivo em energia
- Alta parcela de eletricidade
- Alto grau de auto-suficiência no suprimento de energia

A razão entre o consumo de energia e a renda per capita é útil para medir em termos de energia as variações na renda per capita. A relação é dada por $E = k(I)^P$, sendo E o consumo de energia e I a renda per capita. O expoente P é chamado elasticidade de renda da demanda energética e pode-se demonstrar que corresponde à razão entre o crescimento no consumo de energia e o crescimento de renda per capita:

$$E = k(I)^P \quad (\text{Eq II.1})$$

$$dE = kp(I)^{P-1} dI \quad (\text{Eq II.2})$$

$$(II.1 \text{ em II.2}) \Rightarrow \frac{dE}{E} = \frac{k p(I)^{P-1} dI}{k(I)^P} \quad (\text{Eq II.3})$$

$$\frac{P}{E} = \left(\frac{\Delta E}{E} \right) / \left(\frac{\Delta I}{I} \right) \quad (\text{Eq II.4})$$

Países desenvolvidos têm P igual ou menor que um, enquanto p é muito maior que um em países subdesenvolvidos
(GOLDEMBERG³⁰)

As fontes de suprimento de energia variam segundo os países, mas no que toca a fontes comerciais há características comuns. De fato, considerando apenas as fontes ditas comerciais temos a tabela abaixo, que dá as participações percentuais de cada fonte comercial no consumo de diversos países.

QUADRO II.3 - PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DE FONTES COMERCIAIS DE ENERGIA NO SUPRIMENTO

PAÍS	PERCENTUAL				
	PETROLEO	GAS	NAT.	CARVÃO	OUTROS
Canadá	60	21	-	-	21
Dinamarca	79	2	-	2	17
Alemanha Ocid.	61	14	-	2	23
Italia	72	12	-	5	11
Holanda	55	35	-	-	10
Suécia	71	-	-	4	25
Inglaterra	53	15	-	21	11
México	62	21	-	9	8
Brasil	65	-	-	5	30
India	49	-	-	26	25
China	20	-	-	67	12

FONTE: "Energy Strategies for Developed and Less Developed Countries"; José Goldemberg³¹(Feb, 10, 1978)

Os combustíveis fósseis, Petróleo, Gás Natural e Carvão são predominantes no consumo energético da maioria dos países. O Petróleo detem uma participação percentual acima de 50%, exceto na China onde o Carvão lidera. Considerando entre as fontes de suprimento as não comerciais a situação não é a mesma, pois em muitos países ainda não industrializados elas exercem um papel importante. A predominância no consumo de combustíveis fósseis é uma característica marcante das sociedades de hoje, prin-

cipalmente as industrializadas, onde sobressai não apenas o enorme consumo de energia mas também o fato de que este é um "consumo de capital" mais que "renda": dispõe-se a energia solar armazenada no petróleo, carvão e gás natural - que não pode ser recuperada - em lugar da energia da radiação solar, hídrica, dos ventos etc (COOK²⁰). Há bastante desencontro nas estimativas sobre as reservas de combustíveis fósseis, quer por não se conhecer todos os depósitos, quer em razão das reservas dependerem da escala de preços para serem viáveis sob o ponto de vista econômico. A extração de Petróleo, por exemplo, poderia ir a um limite bem maior do que é aproveitado se os preços atingissem um nível que justificassem a mineração nas rochas das cavernas petrolíferas. Ainda assim, seja qual o conceito utilizado para reservas energéticas, elas são limitadas e se for mantido o atual consumo elas chegarão ao fim (precedido de uma explosão de preços) pois o mundo em que vivemos é um sistema fechado, como está argumentado em "The Limits to Growth".

QUADRO II.4 - RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS DO MUNDO

	10^9 TPE
Carvão	5.385
Petróleo	307
Gás Natural	307

FONTE: "Energy Strategies for Developed and Less Developed Countries"; José Goldemberg,³¹ (Feb 10 . 1978)

Se índices de crescimento populacional e de consumo energético continuarem nos níveis atuais, José Goldemberg calcula que as reservas estimadas no QUADRO (II.4) seriam depletadas em 60 anos. Este painel torna mais simples a compreensão das razões que levaram o mundo à crise energética iniciada em outubro de 1973 com o embargo do petróleo pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP): a economia do mundo está altamente dependente do petróleo e os países exportadores são poucos, sendo a maioria países árabes cultural e ideologicamente

mente identificados entre si. Assim, não foi difícil a estes países compreenderem a sua força e o fato de que o produto que vêm vai acabar um dia, e agirem em conjunto buscando maiores benefícios. O quadro abaixo mostra uma estimativa da duração das reservas dos maiores exportadores em 1971:

QUADRO II.5 - MAIORES EXPORTADORES DE PETRÓLEO:
PRODUÇÃO E RESERVAS EM 1971

PAÍS	PRODUÇÃO EM 10 ⁶ TPE	RESERVAS EM 10 ⁶ TPE	ANOS DE SUPRIMENTO	% DE EXPORTA- ÇÃO DE PRODU- TOS REFINADOS (1970)
Arabia Saudita	182	16.507	90,4	11,5
Venezuela	142	1.526	10,7	29,8
Irã	172	5.793	33,6	10,8
Libia	102	2.538	24,9	0,1
Kuwait	123	8.284	67,0	10,9

FONTE: "Energy"; S.S. Penner e L. Icerman⁹⁴

No original os dados estavam em 10⁶ toneladas de carvão equivalente e foram convertidos para 10⁶ toneladas de petróleo equivalente por divisão de um fator 1,3

Apesar das considerações sobre o enorme consumo de energia não renovável nas sociedades atuais convém frisar que este fato, aparentemente absurdo, decorre principalmente das vantagens destas fontes de energia, principalmente em flexibilidade de uso.

A dimensão dos recursos energéticos renováveis pode ser visualizada no quadro (II.6).

A composição do suprimento de energia em países desenvolvidos e não desenvolvidos difere substancialmente, pois nos últimos a participação do consumo não comercial é deci-

siva QUADRO (II.7).

QUADRO II.6 - PRINCIPAIS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS

ENERGIA	ENERGIA POTENCIALMENTE EXTRATIVEL - 10^9 TPE/ANO
Energia Solar	115
Hídrica	2,3
Fólica	2,3 - 11,5
Termica de Oceanos	7,7

Fonte: "Energy Strategies for Developed and Less Developed Countries"; José Goldemberg³¹ (Feb 10 - 1978)

QUADRO II. 7 - PARTICIPAÇÃO DO CONSUMO COMERCIAL E NÃO COMERCIAL EM PAÍSES MENOS DESENVOLVIDOS

PAÍS	COMERCIAL	NÃO COMERCIAL
India	48%	52%
Brasil	70%	30%
China	70%	30%
Bangladesh	26%	24%
Costa Rica	69%	31%
Nicaragua	66%	36%

FONTE: "Energy Strategies for Developed and Less Developed Countries"; José Goldemberg³¹ (Feb 10 - 1978)

Nos países menos desenvolvidos a maior parcela da população se localiza em áreas rurais, desenvolvendo ativida

des mais voltadas à agricultura. O consumo energético destas populações é predominantemente não comercial: a lenha representa a fonte usada por excelência (como nos Estados Unidos e Europa até a metade do século passado). O consumo rural comercial de energia é baixo com relação ao consumo urbano, enquanto em termos de população e situação é inversa, conforme mostra o QUADRO (II.8). O motivo é que nas áreas urbanas encontra-se um maior envolvimento com as atividades econômicas e maior benefício em termos de recursos e conforto, maior renda per capita e em consequência consumo de energia per capita.

QUADRO II.8 - PARTICIPAÇÃO DAS POPULAÇÕES RURAIS NO CONSUMO DE ENERGIA

	ASIA	AFRICA	AMERICA LATINA
População Rural	75%	91%	52%
Part. no consumo de energia (pop. rural)	23%	4%	23%

FONTE: "Energy Strategies for Developed and Less Developed Countries"; José Goldemberg,³¹(Feb 10 - 1978)

O destino da energia por setores depende, é claro, da estrutura econômica de cada país. No quadro (II.9) temos as participações de alguns países.

Nota-se que o consumo Residencial, Público e Outros é maior quando se inclui as fontes não comerciais nos países menos desenvolvidos, reduzindo a participação da Indústria e Transportes. O modelo de desenvolvimento adotado pelas sociedades menos industrializadas, como já foi mencionado, é imitativo com relação a estrutura dos países industrializados, intensivamente consumidores de energia comercial. Há um crescimento constante da população urbana (a grande beneficiária das vantagens do progresso) devido à migração interna, e isto reduz de forma substancial as possibilidades de aproveitamento de energia não

comercial. Ao mesmo tempo, o consumo energético urbano é intensivo em energia comercial, notadamente petróleo.

QUADRO II.9 - PARTICIPAÇÃO DE SETORES NO CONSUMO ENERGÉTICO DE VARIOS PAÍSES

CASO	PAÍS	INDUSTRIA (%)	TRANSPORTES (%)	RESIDENCIAL , PÚBLICO E OUTROS (%)
1 - Só consumo comercial	E.U.A	41	37	22
	Alemanha	32	18	50
	França	38	23	39
	Japão	49	21	30
	Inglaterra	37	19	44
	Suécia	37	18	45
	Canáda	28	27	45
	México	41	37	22
	Brasil	40,9	36,7	22,4
	Índia	30	32	38
	China	56	8	36
2 - Incluido consumo comercial	Brasil	41,2	22,0	30,8
	Índia	20	21	59
	China	38	5	57
	Bangladesh	11	4	85

FONTE: Adaptado de "Energy Strategies for Developed and Less.

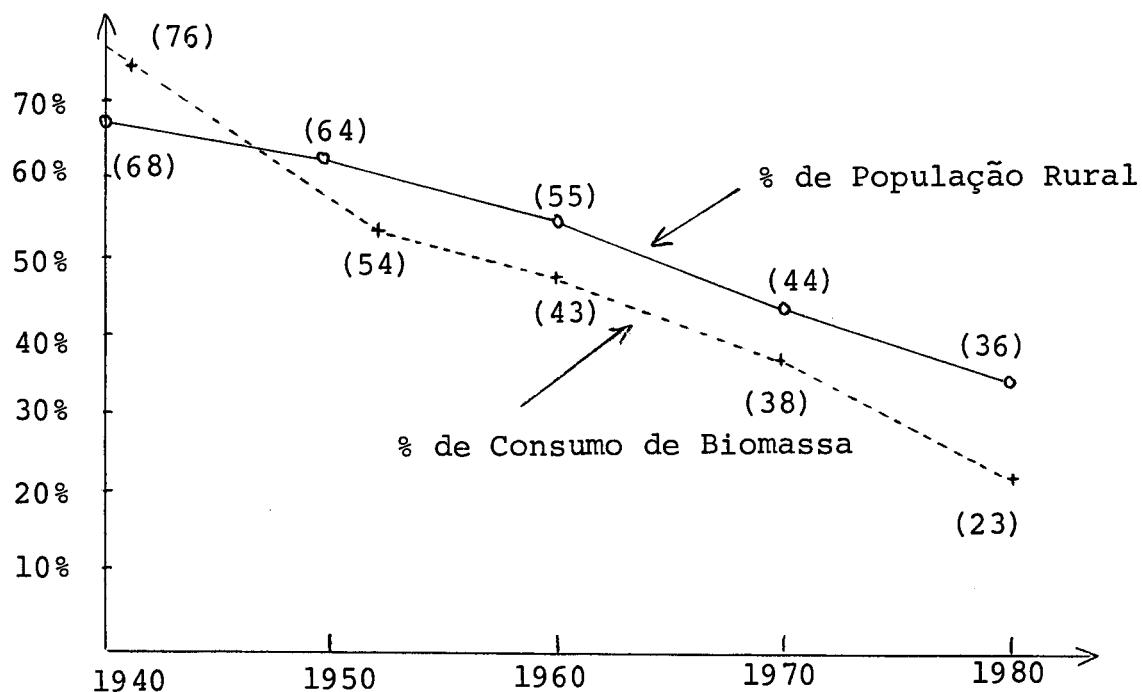
Developed Countries"; José Goldemberg (Teblo-1978)

Para o Brasil considerou-se os valores da Matriz Energética Brasileira

O efeito da migração rural-urbana no consumo de energia pode ser visualizado no gráfico II.4, relativo ao Brasil. A queda na participação percentual do consumo de Biomassa (Lenha,

Carvão vegetal, etc) acompanha a queda na participação percentual da população rural, com relação ao total.

GRÁFICO II.4 EVOLUÇÃO DAS PARTICIPAÇÕES PERCENTUAIS DA POPULAÇÃO RURAL E DO CONSUMO DE BIOMASSA NO BRASIL



FONTES: Anuário Estatístico do Brasil 1977 - IBGE³⁶ ;
CNB/CME¹⁷, BEN - 78⁸⁰

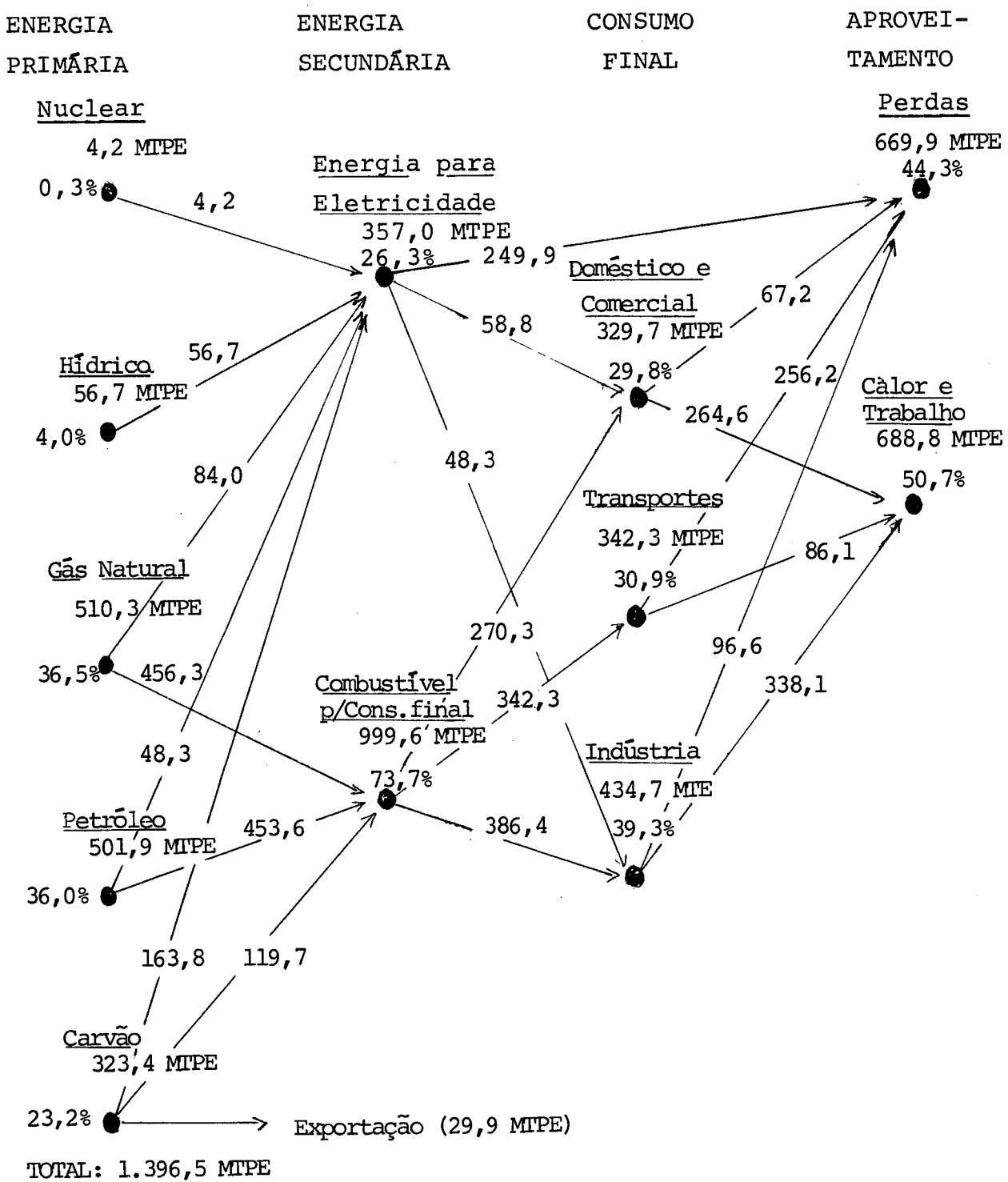
Nesta seção foi apresentado um panorama do uso de energia no mundo contemporâneo, envolvendo o consumo mundial, a forma de uso da energia, as fontes e o destino. A seguir é apresentado o diagrama de fluxo de energia nos Estados Unidos que mostra o caminho percorrido pela energia desde as fontes primárias até o consumo na sociedade nos processos de industrialização, transportes, aquecimento, etc.

Nos Estados Unidos predominam como fontes de energia primária o Gás Natural, Petróleo e Carvão. Do total da energia consumida 26,3% são transformadas em eletricidade e os 73,7% restantes são utilizados sob outra forma de energia secundária. A participação dos setores, excluídas as perdas em geração e transmissão de energia elétrica, é: Doméstico e Comercial (29,8%), Transportes (30,9%) e Indústria (39,3%). Do total da

energia bruta 49,3% é perdida em conversão e transporte.

Para o Brasil pode ser montado um diagrama semelhante, a partir dos dados obtidos pelo Estudo da Matriz Energética Brasileira, como será visto no próximo capítulo.

DIAGRAMA II.2: FLUXO DE ENERGIA NOS ESTADOS UNIDOS, EM 1970
(ADAPTADO DE COOK²⁰)



CAPÍTULO III

ENERGIA NO BRASIL

III.1 DADOS DISPONÍVEIS

As principais fontes de dados consultadas neste capítulo, por permitirem uma visão mais ampla da estrutura energética no país, foram os dados produzidos pelos estudos da Matriz Energética Brasileira (MEB⁸²) de 1970, pelo Comitê Nacional Brasileiro (CNB-CME)¹⁷ da Conferência Mundial de Energia e do Balanço Energético Brasileiro de 1978 (BEN⁸⁰).

Os estudos da matriz energética serão discutidos posteriormente e se constituem na mais séria tentativa brasileira de entender e atuar no problema energético como um todo. Os dados disponíveis incluem as transformações entre formas de energias e Matrizes de fontes contra setores de consumo.

O CNB-CME apresentou uma série histórica de dados de consumo desde 1940 até 1972 pelas diversas fontes de energia bruta. No entanto, por deficiências em informações, alguns anos na série estão incompletos, o que levou a se considerar neste trabalho apenas anos com dados completos. Não estão incluídos dados de consumo de álcool carburante.

O Balanço Energético Nacional passou a ser publicado em 1976 por iniciativa do Ministério das Minas e Energia. Apresenta dados de Reservas, Produção e Consumo das fontes de Energia Bruta.

Deve-se assinalar que por razões de ajustes metodológicos (coeficientes de conversão para unidade equivalente - TPE; conceito de consumo energético, etc) os dados das três fontes de informações não são coincidentes.

Ainda assim foram utilizados, pois as discrepâncias não chegam a comprometer a análise ao nível deste trabalho.

III. 2 EVOLUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

A economia brasileira tem sofrido um processo de mudança rápido nas últimas décadas, com consequências marcantes no consumo de energia. Até a crise de 1929 a produção brasileira era essencialmente agrícola, mas com a crise as exportações do país decresceram e não foi possível manter o fluxo intenso de importações de produtos industrializados, advindo daí a oportunidade para um crescimento industrial em busca da substituição de importações. (GUEDES³⁸) A partir de 1945 o setor industrial emerge como a área mais dinâmica da economia, embora o setor agrícola ainda seja o predominante. Na década de 50 o capital estrangeiro passa a participar ativamente na economia brasileira, graças a facilidades que lhe são oferecidas, com grandes empresas multinacionais passando a controlar vários segmentos industriais. Daí em diante foi ainda mais acelerado o crescimento industrial e maior a presença de empresas estrangeiras.

Este processo de industrialização ocasionou outras mudanças no país, pois trouxe consigo opções diversas das vigentes anteriormente. O predomínio da população rural, característica de uma sociedade agrícola, deixa de existir dando lugar a contínuas migrações internas em busca das áreas urbanas, como mostrou o GRÁFICO (II.4). Novas oportunidades de consumo surgiram com a industrialização, em grande parte refletindo interesse das empresas estrangeiras e trazendo hábitos de seus países de origem. A ascenção da indústria de transportes deve ser destacada pelo elenco de alterações que trouxe, desde a mobilidade social decorrente, até a grande mudança na demanda energética.

É claro que mudanças no consumo energético acompanharam o processo de industrialização: cresceu o consumo energético a taxas muito superiores ao aumento da população, as participações entre as fontes de suprimento de energia foram alteradas enormemente para atender a novas características de consumo: energia elétrica para indústria e setor doméstico urbano, petróleo para transportes, etc.

No quadro abaixo é mostrado como evoluem população e consumo de energia, evidenciando a tendência da sociedade brasileira em se tornar intensivamente consumidora de energia.

QUADRO III.1

EVOLUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO, POPULAÇÃO, E CONSUMO PER CAPITA NO BRASIL

ANO	CONSUMO ENERGÉTICO 10^3 TPE	POPULAÇÃO 10^3 Hab.	CONSUMO PER CAPITA TPE/Hab
1941	15.527	42.307	0,36
1952	20.602	55.593	0,37
1960	32.852	70.191	0,46
1970	61.170	93.139	0,65
1980*	123.713	122.202	1,01

FONTES: CONSUMO BRASILEIRO DE ENERGIA - Comitê Nacional Brasileiro de Conferência Mundial de Energia - 1972¹⁷
BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO - MME - 1978⁸⁰
ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - IBGE - 1977⁵⁶

A mudança na estrutura de suporte energético pode ser visualizado no QUADRO (III.2). Nota-se entre as fontes predominantes a grande escalada do Petróleo cujo consumo de 1.467×10^3 TPE em 1941 (9,4% do total) passará a 50.269×10^3 TPE em 1980 (41,6%), apesar das reservas do país serem poucas: foi a força da demanda dos setores industriais e de transportes, que muito cresceram no período, o responsável por tal modificação. A energia hidráulica, que é convertida em energia elétrica, também cresceu sensivelmente, de 8,3% do total em 1941 para 27,5% em 1980. Por outro lado a lenha teve sua participação decaendo de 70,2% em 1941 para apenas 16,4% em 1980, ainda que seu consumo tenha quase dobrado. Em grande parte isto se deve à mudança da composição da população rural e urbana

(*) Dados estimados

e às facilidades de uso da energia elétrica e derivados do petróleo, e também à crescente escassez da lenha devido à devastação de florestas. As demais fontes de energia tiveram crescimento em seu consumo total, sendo no entanto sua participação em menor proporção. É interessante observar que o carvão mineral e gás natural, de grande importância nos orçamentos energéticos de outros países têm pequena participação relativa no Brasil, notadamente o gás natural.

QUADRO III.2

EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA BRUTA NO BRASIL POR FONTES, DE 1941 a 1980

ENERGIA BRUTA 10^3 TPE

	1941		1952		1960		1970		1980 (*)	
	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%	VALOR	%
PETRÓLEO	1.467	9,4	5.808	28,2	12.353	37,6	23.311	38,1	50.269	40,6
GAS NATURAL	-	-	1	-	48	0,1	104	0,2	467	0,6
ÁLCOOL (**)	...	-	...	-	...	-	155	0,3	2.479	1,6
HIDRÁULICA	1.282	8,3	2.663	12,9	5.331	16,2	11.560	18,9	34.066	27,5
CARVÃO MINERAL	2.293	8,3	1.476	7,2	1.355	4,1	2.391	3,9	5.736	4,6
LENHA	10.895	70,2	9.698	47,1	12.381	37,7	18.809	30,7	20.265	16,4
BAGAÇO CANA	201	1,3	426	2,1	774	2,4	3.356	5,5	6.168	5,0
CARVÃO VEGETAL	389	2,5	530	2,5	610	1,9	1.484	2,4	2.939	2,4
URÂNIO	-	-	-	-	-	-	-	-	1.114	0,9
TOTAL	15.527	100	20.602	100	32.852	100	61.170	100	123.713	100

FONTES: CONSUMO BRASILEIRO DE ENERGIA - (CNB - CME) 1973 - Dados de 1941, 1952 e 1960 (Ref 17)
BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO - MME 1978 - Dados de 1970 e 1980 (Ref 80)

Nota : As conversões dos dados de 1941/52/ para 1000TPE foram feitas de acordo com os fatores adotados no Balanço, exceto para Carvão Mineral, por não haver índice correspondente.

As transformações ocorridas nos cenários de suprimento energético devem ser creditadas mais à dinâmica natural de acompanhamento das mudanças da economia do que à ação de uma política energética explícita. O Estado certamente interviu no processo com participação decisiva no domínio de formas comerciais, como o monopólio estatal do petróleo e predominância na produção de energia elétrica, mas isto se deu em políticas restritas à ótica destas fontes em separado e não no problema energtico como um todo. Ainda mais que a enfase destas políticas "setoriais energéticas" tem sido historicamente o atendimento da demanda por fontes isoladas (ao menos até a crise do petróleo), atendimento este monitorado por empresas estatais ávidas de expansão.

III.3 CONSUMO DE ENERGIA POR FONTES E SETORES EM 1970

A visualização do fluxo de energia desde as fontes de energia bruta até os setores consumidores está mostrada no DIAGRAMA (III.1), resultado da ordenação dos dados produzidos pelos estudos da Matriz Energética Brasileira-MEB, em 1970.

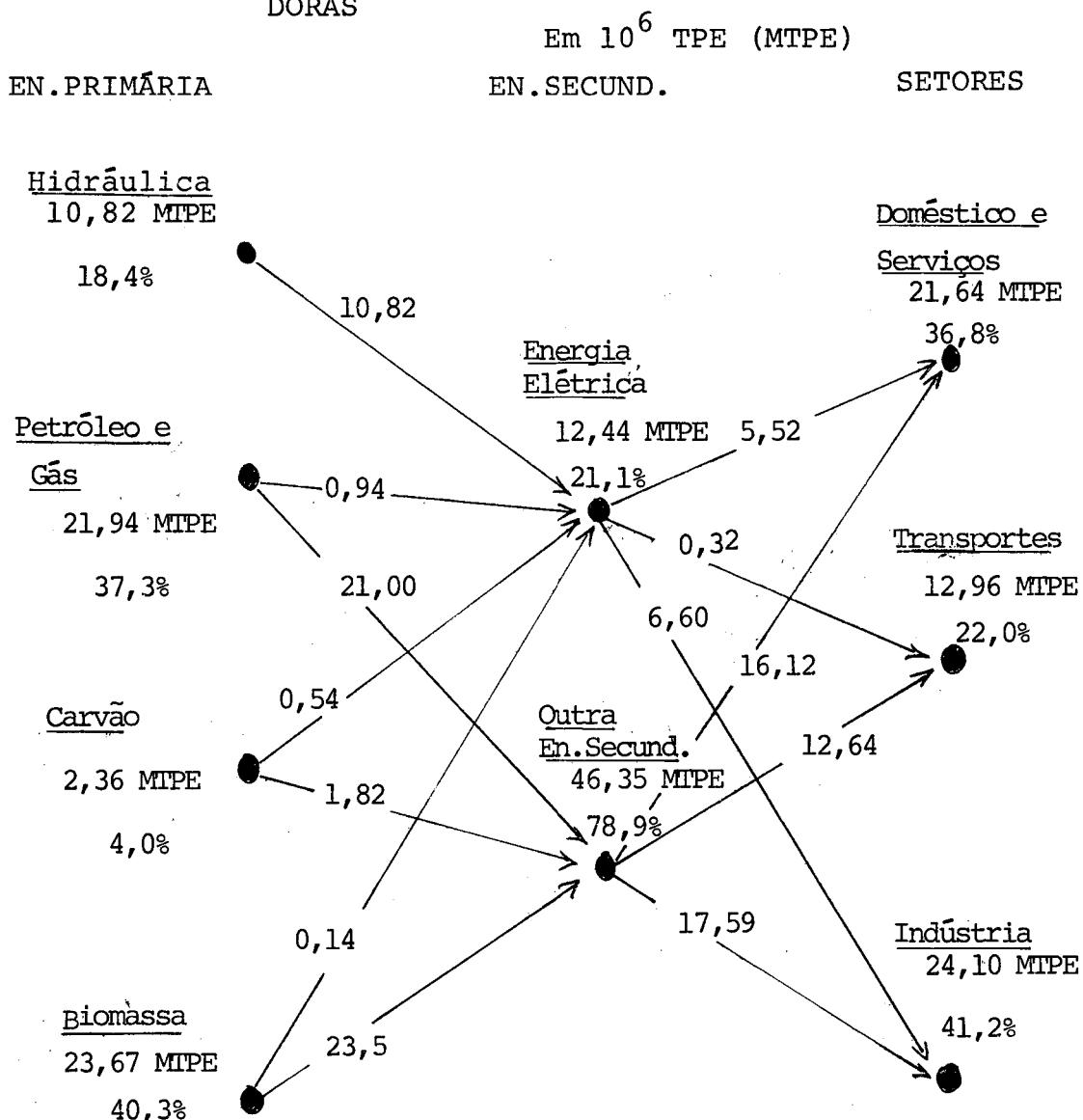
Nota-se no Diagrama de 1970 que: a) Biomassa , Petróleo e Energia Hidráulica predominavam; b) A energia elétrica participava com 21,1% do total de energia secundária, sendo originada principalmente de energia hidráulica, e alimentadora dos setores Doméstico e Serviços e Industrial; c) Apesar de sua grande participação no total, é pequena a contribuição de biomassa na produção de energia elétrica;

Uma análise mais apurada pode ser realizada utilizando-se o QUADRO (III.3), onde se encontram as formas de energia secundária por setores da economia.

(*) Dados estimativos

(**) Sem dados em 1941, 1952 e 1960

DIAGRAMA III.1 FLUXO DE ENERGIA NO BRASIL, EM 1970, EXCLUÍDAS AS PERDAS EM CONVERSÃO E TRANSPORTE, INCLUIDAS PERDAS DA CONVERSÃO FINAL NAS UNIDADES CONSUMIDORAS



FONTE: Matriz Energética Brasileira - 1970 (Ref 25)

Há que se notar que nos trabalhos da Matriz Energética Brasileira de 1970 (MEB) considerou-se o consumo de energia na chegada à unidade consumidora, não havendo estimativa para perdas no interior de indústrias, casas comerciais, residências, etc. Como não há indicação de perdas para Biomassa na produção de lenha, cana-de-açúcar, carvão vegetal, nem das perdas de recursos hídricos em Usinas geradoras, utilizou-se no diagrama apenas os valores com as perdas excluídas.

QUADRO III.3

ENERGIA SECUNDÁRIA POR SETORES, NO BRASIL, EM 1970

a) Em valor de Energia - 10^3 TPE

	ENERGIA SECUNDÁRIA				
	ELETRICA	CARVÃO MINERAL	SUB.PET. E GÁS	SUB.BIOM.	TOTAL
INDUST., AGRIC.	6.606,2	1.809,6	6.057,8	9.729,7	24.203,3
TRANSPORTES	329,0	17,0	12.600,6	23,4	12.970,0
COM., SERVIÇOS	2.700,0	1,1	395,1	116,8	3.213,0
DOMÉSTICO	2.761,4	-	1.947,1	13.668,8	18.377,3
T O T A L	12.396,6	1.827,7	21.000,6	23.538,7	58.763,6

b) Percentual de cada setor por fonte

INDUST., AGRIC.	53,3	99,0	28,8	41,4	41,2
TRANSPORTES	2,7	0,9	60,0	0,1	22,0
COM., SERVIÇOS	21,7	0,1	1,9	0,5	5,5
DOMÉSTICO	22,3	-	9,3	58,0	31,3
T O T A L	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

c) Percentual de cada fonte por setor

INDUST., AGRIC.	27,3	7,5	25,0	40,2	100,0
TRANSPORTES	2,5	0,1	97,2	0,2	100,0
COM., SERVIÇOS	84,1	0,0	12,3	3,6	100,0
DOMÉSTICO	15,0	-	10,6	74,4	100,0
T O T A L	21,1	3,1	35,7	40,1	100,0

FONTE: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, em "Seminário sobre Conservação de Energia" - FINEP - 1976 (Ref 25)

Do ponto de vista de setores observa-se que:

- Os setores Industrial e Agrícola absorveram a maior parcela da energia, 24×10^6 TPE, isto é, 41,2% do total dos setores, supridos na segunda proporção: 27,3% Elétrica, 7,5% Carvão Mineral; 25,0% Petróleo e 40,2% de biomassa.
- No setor de transportes, com consumo de $13,0 \times 10^6$ TPE, 22% do total, a energia predominante era evidentemente o Petróleo que participava com 97,2% do seu suprimento.
- O setor doméstico teve um consumo de $18,4 \times 10^6$ TPE, 31,3% do total, onde a Biomassa predominava no suprimento (74,4%), seguida de Elétrica (15,0%) e Petróleo (10,6%).
- O setor de Comércio e Serviços, de menor importância no consumo energético, 5,5% do total, é atendido principalmente por Energia Elétrica.

Do ponto de vista das fontes, destaca-se que:

- A Energia Elétrica foi consumida principalmente pela Indústria, 53,3% e setores Doméstico (22,3%) e Comércio e Serviços (21,7%).
- O Carvão Mineral, ainda que só participou em 7,5% no setor Industrial, foi absorvido quase totalmente por este setor (99,0%).
- O Petróleo foi consumido principalmente no setor de transportes - 60,0%, e Industrial - Agrícola - 28,2%
- A Biomassa teve seu consumo dividido basicamente entre os setores Doméstico - 58% e In-

dustrial - Agrícola - 41,4%. Foi, ainda, a forma predominante nestes dois setores.

Sobre o setor Industrial, chama atenção que a Biomassa em 1970 ainda participava com 31% de seu consumo total. Uma análise mais completa de consumo de energia na Indústria requer estudos a nível de cada ramo industrial quanto a fontes, localização, eficiência nos processos, nível tecnológico do uso de energia, etc, os quais fogem um pouco ao objetivo deste trabalho, alem de não haver um conjunto de dados completos e detalhados. Ainda assim foi possível montar o QUADRO(III.4), onde a partir do consumo de energia por alguns setores industriais (dados da MEB) e a produção (dados da Matriz de Relações Inter Setoriais, do IBGE) calculou-se a produção por energia consumida.

QUADRO III.4

PRODUÇÃO DE ALGUNS RAMOS INDUSTRIAIS POR ENERGIA CONSUMIDA EM 1970

RAMO	PRODUÇÃO CR\$ 10 ⁶ de 1970	CONSUMO 10 ³ TPE	PRODUÇÃO POR ENER GIA - CR\$ 10 ³ /TPE
Cimento	1.110	1.471,0	0,754
Vidro	745	253,7	2,936
Ferro e Aço	5.172	4.212,6	1,228
Met.de não Ferrosos	1.283	557,6	2,300
Mat. de Transportes	9.800	508,0	19,291
Textil	13.307	1.074,5	12,390
Alimentos	12.961	5.254,0	4,370
Bebidas	1.922	225,8	8,512
Borracha	1.982	191,6	10,344
Extração Mineral	1.895	175,5	10,798

FONTES: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, em "Seminários sobre Conservação de Energia" - FINEP - 1976 (Ref 25)
 MATRIZ DE RELAÇÕES INTER SETORIAIS, em "Anuário Estatístico do Brasil - IBGE - 1977 (pag 825) (Ref 56)

Há que se notar que quanto mais intensivo em consumo de energia, menor será a relação produção/energia consumida. Assim, são ramos intensivos em energia cimento, vidro e metalurgia em geral, enquanto indústrias texteis, de material de transportes, de Borracha, etc são menos intensivos em energia. Uma política energética bem estruturada deve levar em conta não apenas opções do ponto de vista energético, mas aspectos mais amplos, econômicos e sociais, que tem forte interpenetração com os problemas de energia, como é o caso da composição do parque industrial do país.

Como foi visto, da energia consumida no setor de transportes, 97,2% correspondeu em 1970 a Petróleo. O setor absorveu 60,0% do consumo de Petróleo, sendo portanto seu principal consumidor. Observando-se o consumo de Petróleo por modo de transporte, no QUADRO (III.5), conclui-se que 85,0% deste consumo está concentrado nos transportes rodoviários: que dizer, o país, com dimensões continentais adotou um modelo de transportes rodoviários, em detrimento do ferroviário e hidroviário, menos intensivos em energia por passageiro (PENNER⁹⁴), e agora, com a crise do petróleo, paga o preço de tal opção.

QUADRO III.5

CONSUMO DE ENERGIA POR TIPO DE TRANSPORTES EM 1970

MODO DE TRANSPORTE	CONSUMO DE PETRÓLEO 10 ³ TPE	PERCENTUAL %
RODOVIÁRIO	10.712,0	85,0
FERROVIÁRIO	417,0	3,3
HIDROVIÁRIO	903,2	7,2
AÉREO	568,4	4,5
T O T A L	12.600,6	100,0

FONTE: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA; em "Seminário sobre Conservação de Energia - FINEP - 1976 (Ref 25)

No setor doméstico o consumo pode ser dividido em rural e urbano e estudado a partir do QUADRO (III.6), abaixo:

QUADRO III.6

CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DOMÉSTICO - 1970

a) Em valor de energia - 10^3 TPE

LOCALIZAÇÃO	ELETRICA	BIOMASSA	PETROLEO	TOTAL
Rural	49,0	10.594,6	439,2	11.082,8
Urbano	2.712,3	3.074,2	1.573,6	7.360,1
T O T A L	2.761,3	13.668,8	2.012,8	18.442,9

b) Percentual de localização por fonte

Rural	1,8	77,5	22,6	59,9
Urbano	98,2	22,5	77,4	40,1
T O T A L	100,0	100,0	100,0	100,0

c) Percentual de fonte por localização

Rural	0,0	96,1	3,9	100,0
Urbano	36,9	41,8	21,3	100,0
T O T A L	15,0	74,4	10,6	100,0

FONTE: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA em "Seminário sobre Conservação de Energia" - FINEP - 1976 (Ref 25)

Note-se que a biomassa prevalece no consumo do doméstico (74,4% do total) e é mais consumida, é claro, no setor rural (77,5% do consumo de biomassa). Por sua vez a eletricidade e petróleo são muito mais consumidos em áreas urbanas: quer

dizer, as formas de energia mais modernas, "mais limpas" são destinadas às áreas urbanas - reflexo das comodidades dadas às cidades que levam à migrações de regiões rurais a urbanas (GOLDEMBERG³¹). A este respeito é intrigante que o consumo per capita doméstico urbano seja menor que o rural, segundo os dados da MEB:

QUADRO III.7

CONSUMO PER CAPITA NO SETOR DOMÉSTICO - 1970

LOCALIDADE	ENERGIA 10^3 TPE	HABIT. 10^3	EN/HAB. TPE/PESSOA
Rural	11.082,8	41.054,1	0,27
Urbano	7.360,1	52.084,9	0,14
T O T A L	18.442,9	93.139,0	0,20

FONTES: MEB - 1970 (Ref 25)

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL 1977 - IBGE (Ref 56)

Estes dados possivelmente se explicam no consumo da biomassa (que predomina): alguns usos rurais de lenha e carvão vegetal, não exatamente domésticos - no sentido do consumo urbano - devem ter sido computados nas estatísticas no setor doméstico rural. Também é conhecido que a eficiência de transformação da biomassa é bem menor que da eletricidade e subprodutos do petróleo.

III.4 RECURSOS ENERGÉTICOS NO BRASIL

Petróleo

As reservas brasileiras de Petróleo são poucas, se comparadas ao consumo. Mesmo as descobertas em 1976 de petróleo na plataforma submarina são poucas para resolver os problemas de dependência externa do país.

No QUADRO (III.8) as reservas são comparadas à

produção, consumo e dependência externa, evidenciando a pobreza de petróleo do solo do país em relação a seu consumo: se todas nossas reservas em 1975 pudesse ser extraídas de uma vez, elas só atenderiam ao consumo de pouco mais de dois anos.

QUADRO III.8

RESERVAS, PRODUÇÃO, CONSUMO E DEPENDÊNCIA EXTERNA DE PETRÓLEO EM 10^3 TPE

ANO	RESERVAS (A)	PRODUÇÃO (B)	CONSUMO (C)	DEP. EXT. (D)=(C)-(B)
1965	89.712	4.700	15.600	10.900
1970	114.475	8.010	24.475	16.465
1975	104.664	8.382	42.008	33.626
1977	148.761	7.564	46.199	38.635

FONTES: Balanço Energético Nacional 1976/1978 (Ref 78,79,80)

Relatórios de Atividades da Petrobras (Reservas: os valores originais, em 10^3 m³ foram convertidos em 10^3 t usando-se o fator 0,84, peso específico do "Petróleo Médio")

Para fazer frente aos problemas de preço de petróleo, a política energética brasileira buscou incrementar a exploração de petróleo e introduzir "medidas conservativas" de alguns combustíveis. As medidas de economia concentraram-se na gasolina e óleo diesel oferecendo-se dificuldades ao consumo, como limite de velocidade, postos fechados aos domingos, preços , etc. Assim é que a gasolina comum custava CR\$ 1,60/litro em Março de 1974 e atingiu CR\$ 14,30/litro em novembro de 1979. Ocorre , entretanto, que existem limitações técnicas na estrutura de refinaria e assim a economia de um só subproduto não representa economia de petróleo, mas excedentes do subproduto poupança pois os demais não têm o consumo reduzido. (Estrutura aproximada de refinaria: 28% Óleos combustíveis; 26% Gasolinas; 25% Oléo Diesel ; 21% Outros Produtos). No Brasil a política de petróleo buscou au-

mentar o preço da gasolina, subsidiando o preço de outros produtos (e isto tende a estimular a demanda destes produtos), ao mesmo tempo que aumentou a mistura de diesel, álcool e querosene à gasolina e óleo combustível ao diesel. O resultado é gasolina excedente, porém de baixa qualidade, que só pode ser exportada, para economizar divisas, em países com menor controle de qualidade - os subdesenvolvidos, na América Latina e África, a preços inferiores aos de comercialização em nações mais desenvolvidas.

Recursos Hídricos

De acordo com o Balanço Energético Nacional - 1978, a produção média anual do potencial hidrelétrico do país é de 968.000 Gwh/ano (considerando-se a hidrologia média e apenas o potencial já inventariado), o que equivale a 280.720×10^3 TPE/ano. Segundo COLÓ¹⁶, se levado em conta todo o potencial, a produção média ultrapassa a casa de 1 milhão de GWh/ano. Em termos de energia firme (energia garantida mesmo nos anos mais secos) o potencial levantado é de 101.240 MW médios, ou $886.862 \text{ GWh/ano ou } 257.480 \times 10^3 \text{ TPE/ano.}$

A produção estimada para 1978 corresponde a cerca de apenas 11% do potencial e em 1986, com o atual programa de usinas, apenas 23%. Com reservas tão grandes o Brasil se coloca em situação privilegiada com relação ao resto do mundo, mas seu problema reside na distância entre os potenciais ainda por aproveitar e os centros consumidores de energia elétrica, como se observa no quadro (III.9).

O aproveitamento do potencial hidráulico brasileiro vai requerer a transmissão de grande quantidade de energia por um percurso longo. Para tanto ainda se faz necessário a absorção e geração de tecnologia apropriada de transmissão. Existe também a possibilidade de aproveitamento de pequenas quedas como estuda a Eletrobras, com a construção de usinas de menor porte - as "usinas bulbo" - que suavisariam o problema de abastecimento das regiões Sudeste e Sul e em áreas rurais.

QUADRO III.9

POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO POR
REGIÃO OU BACIA ENERGIA FIRME - MW MÉDIOS

BACIA OU REGIÃO	INVENTARIADO			(B) TOTAL	(A) / (B) %
	Aproveita- do até 1986	Disponível após 1986	Estimado		
Amazonas	20	-	29.370	29.390	0,1
Tocantins	2.300	8.460	1.300	12.060	19,1
Nordeste	3.270	3.450	240	6.960	47,0
Sudeste/Centro-Oeste	14.900	9.400	6.110	30.410	49,0
Sul	2.750	12.300	7.370	22.420	12,3
TOTAL	23.240	33.610	44.390	101.240	23,0

FONTE: "Principais Fontes Para Geração de Energia Elétrica no Brasil" - Antonio Colô¹⁶, Antonio C.T. Haltz, João C.R. Albuquerque - in Anais do Congresso Brasileiro de Energia - Vol 3 - Dez/1978

NOTA : Multiplicar por 8,76 para obter GWh/a ou por 2,54 para obter 10^3 TPE

Uma questão discutida diz respeito aos preços da energia elétrica, considerados altos (GUEDES³⁸, etc). O custo de energia é majoritariamente originada do custo do investimento para barragens, e para equipamentos de geração, transmissão e distribuição, os últimos em grande parcela originados do exterior.

Carvão Mineral

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional - 1978 as reservas brasileiras de carvão mineral totalizavam, em fins de 1977, 20.891 milhões t, enquanto a produção naquele ano foi de 3.987 mil toneladas, isto é, 0,02% das reservas.

A principal razão para tal se prende aos baixos preços do Petróleo até a crise de 1973, levando muitos países a substituir o carvão por petróleo. Também devem ser considerados que: a) as reservas conhecidas cresceram cerca de 200% no período 1974/77; b) o carvão brasileiro é de baixa qualidade, (52% de teor de cinzas no RGS) (GOLDE BERG³⁰) c) Segundo relatório do CNPq "das fontes convencionais é o carvão a que está a demandar maior soma de esforços para o desenvolvimento de tecnologia em todas as etapas de seu processamento".

É interessante notar que de um total de 4.106×10^3 TPE consumidos de carvão em 1977, 2.702×10^3 TPE (65,8%) procedeu de importações, estando previsto até 1987 a manutenção desse índice de dependência externa. As importações se devem às necessidades siderúrgicas, para as quais a produção de carvão metalúrgico é insuficiente.

Uma política mais enfática de desenvolvimento tecnológico na área de carvão faz-se necessária, buscando a melhoria do processamento, aperfeiçoamento dos processos siderúrgicos, aproveitamento de coco babaçu, etc. Há que se levar em conta, também, que o carvão apresenta custo de energia até 22 US\$ mills/kWh contra 37 US\$/kWh de Nuclear, (COLÓ¹⁶) podendo, diante das dimensões das reservas, ser uma solução mais racional para o suprimento de energia elétrica no Sudoeste que a energia nuclear.

Gás Natural

Ao contrário de outros países, no Brasil o Gás Natural tem papel de menor destaque no cenário energético. As reservas são da ordem de $39.455 \times 10^6 \text{ m}^3$ (BEN-78⁸⁰) ou 35.983×10^3 TPE? O consumo é principalmente para fins não energéticos, como redução direta de minério de ferro. Em 1977 o consumo total foi de $1.807 \times 10^6 \text{ m}^3$, dos quais apenas $555 \times 10^6 \text{ m}^3$ (506×10^3 TPE) para fins energéticos.

Urânio

Tendo por argumento principal o crescente esgotamento de recursos hídricos na região Sudeste, o Brasil iniciou em 1974 um extenso Programa Nuclear, em colaboração com a Alemanha. O programa prevê o domínio completo da tecnologia nuclear num prazo de 15 anos e autonomia no suprimento. Muitas críticas vêm sendo formuladas ao programa pela comunidade científica, sobressaindo-se: a) a viabilidade do processo de enriquecimento do Urânio "Becker jet-nazzle" ainda não é considerada provada; o que leva alguns a afirmar que o Brasil financia desenvolvimento tecnológico na Alemanha; b) há grande incerteza quanto às possibilidades de absorção de tecnologia nos moldes propostos no programa; c) não há completa definição no papel dos institutos de pesquisa brasileiros; d) o programa de formação de recursos humanos é considerado insatisfatório; e) a instalação de plantas de reprocessamento de plutônio, prevista no acordo, tem sofrido sérias objeções dos Estados Unidos.

Segundo o Balanço Energético Nacional - 1978⁸⁰, as reservas do país são de 66.800 t de U₃O₈ (Yellow Cake) (em 31/12/77), equivalentes a 645.087,6 x10³ TPE. O consumo é previsto crescer de 15,4 t U₃O₈ (137 TPE) em 1979 para 821 t U₃O₈ (7.761 TPE) em 1987.

A discussão do problema nuclear no país é muito ampla, envolvendo aspectos que ultrapassam o âmbito deste trabalho. Algumas observações, do ponto de vista energético se fazem, no entanto, oportunas. A primeira diz respeito à dimensão das reservas. A estimativa do Balanço Energético envolve cálculos ainda pouco comprovados pois, de acordo com COLÔ¹⁶, citando por fonte a NUCLEBRÁS, as reservas medidas são de 16.900 t U₃O₈, que somadas às estimadas, 9.480 t U₃O₈, totalizam 26.380 t U₃O₈, bem abaixo do valor do B.E.N. Em segundo a questão do custo do kWh produzido, que é desfavorável à Energia Nuclear, de acordo com o estudo elaborado por técnicos da ELETROBRÁS (COLÔ¹⁶), conforme o QUADRO (III.10).

QUADRO III.10

CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA - DEZ 78

FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA	US\$ MILLS/kWh
Carvão Mineral	Entre 19 e 22
Óleo Combustível	33
Nuclear	37
90% do Potencial Hidrelétrico disponível para após 1986 - 41.630 MW	Menor que 37

FONTE: "Principais Fontes para Geração de Energia Elétrica no Brasil" - Antonio Colô¹⁶, Antonio C.T. Haltz, João C.R. Albuquerque - in Anais de Congresso Brasileiro de Energia - Vol 3 - Dez/1978

Álcool

Não é recente a utilização do álcool como fonte energética. De fato, desde a década de 30 vem sendo realizadas misturas de excedentes da produção de álcool à gasolina. Em novembro de 1975 foi instituído o Programa Nacional do Álcool, objetivando reduzir o consumo de gasolina automotiva com a mistura à gasolina em escala maior - 20% até 1980. Para tanto foi estimulada a expansão da indústria alcooleira, notadamente em São Paulo, pela Comissão Nacional de Álcool.

Pode-se obter álcool de diversos produtos e rejeitos agrícolas, como produtos sacaríneos (cana-de-açúcar, beterraba, etc), produtos amiláceos (mandioca, batata, etc) e produtos celulosicos (mandioca, batata, etc) (CNPq¹²). Em razão do parque industrial já existente, domínio de tecnologia e competitividade de custos, a produção de álcool tem sido proveniente da cana-de-açúcar.

Tecnicamente a mistura é viável - até 20% não é necessário alterar o motor - e se o poder calorífico do álcool

é inferior ao da gasolina, por outro lado sua densidade e rendimento são maiores. A questão fundamental está em que a mistura do álcool é uma solução parcial para o problema de petróleo, pois não implica em uma redução no consumo daquele combustível mas apenas de um subproduto. Acrescente-se ainda problemas originados da grande extensão de terra necessária para a atendimento de Programa do Álcool, a poluição originada do vinhoto (13L/l litro álcool) e questão de equivalência de preços entre açúcar e álcool: se as variações não seguirem comportamentos semelhantes poderá ocasionar desestímulo a um ou ao outro subproduto da cana-de-açúcar.

O consumo de álcool carburante evoluiu de $437 \times 10^3 \text{ m}^3$ ($367 \times 10^3 \text{ TPE}$) em 1967 para $639 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 1977, estando previsto a partir de 1978 um crescimento substancial - de $1.739 \times 10^9 \text{ m}^3$ para $4.692 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 1987, segundo o BEN - - 1978⁸⁰

Lenha, Carvão Vegetal e Bagaço de Cana

Como já visto o consumo de Lenha e Carvão Vegetal tem crescido mas sua participação nos balanços energéticos decaído. Isto se deve à crescente urbanização da população e à devastação das florestas naturais sem um reflorestamento equivalente. Para ilustrar observe-se o QUADRO (III.11).

O Estado de São Paulo com uma cobertura de florestas inicial de 81,8% (segundo o Instituto Florestal da Secretaria de Agricultura), já tinha em 1935 uma cobertura de 26,2% e em 1973 o valor caiu para 8,3%. É claro pois que deve-se ver com reservas a volta a uso intensivo de Florestas como fonte de energia.

O bagaço de cana pode ter ainda aumentado seu consumo, com o incremento na produção de álcool. O BEN prevê a duplicação de seu consumo nos próximos dez anos.

QUADRO III.II

VEGETAÇÃO BRASILEIRA COMO PERCENTAGEM DO TERRITÓRIO TOTAL

FLORESTA	PRIMITIVA	PRESENTES
Amazônia	40	36
Atlântica	10	1

FONTE: Brasil: "Energy Options and Current Outlook",
J. Goldemberg³⁰ Science Vol 200, 14 April 1978

Fontes Alternativas de Energia

Após a crise do Petróleo foram iniciados vários estudos para o aproveitamento de outras fontes de energia, dos quais o Programa do Álcool é o resultado mais conhecido. Tais estudos dependem ainda de desenvolvimento tecnológico bem sucedido e custo compatíveis. Certamente estas fontes não solucionariam os problemas maiores de energia no país até o fim deste século mas possivelmente os atenuarão com aplicações específicas em substituição a fontes em vários segmentos do mercado.

Pode-se considerar como a forma mais simples de gerar energia a redução de seu consumo superfluo e das perdas - a denominada conservação de energia. Algumas medidas vêm sendo tomadas, como a redução no consumo de derivados de petróleo, mas é preciso maior esforço de poupança, incluindo a redução de perdas na produção, transporte e consumo - o que implica em equipamentos e dispositivos de consumo com maior eficiência.

O Brasil possui uma das maiores reservas do mundo de Xisto, mas há grande desencontro sobre o valor de tais reservas. Sabe-se, entretanto, que as reservas do país seriam suficientes para substituir as importações de Petróleo (há estimativas entre 106×10^6 TPE a 497×10^6 TPE, CNPq e GOLDEMBERG). Os maiores obstáculos para a utilização do Xisto ainda são os custos com relação ao petróleo, a tecnologia e problemas de meio ambiente originados da mineração. Está previsto, para 1984

o início de sua produção, a partir de processo desenvolvido na PETROBRÁS, a PETROSIX.

Estuda-se também o aproveitamento direto da energia solar para secadores, destilação de água salobre, refrigeração e aproveitamento indireto através da bioconversão (por exemplo, fermentação anaeróbica de detritos orgânicos).

O Hidrogênio vem sendo pesquisado como matéria prima em reações de síntese ou como vetor energético para o transporte de energia.

Há ainda estudos visando a construções de microcentrais hidrelétricas (usinas bulbo), protótipos de máquinas eólicas e aproveitamento da energia da marés.

CAPÍTULO IV

MODELOS MATEMÁTICOS

Em termos genéricos, modelos são uma representação simplificada da realidade, através da qual se busca reproduzir ou estudar o comportamento de um dado sistema.

Jay Forrester²⁷, um dos mais conhecidos especialistas em modelagem, diz : "Toda decisão que tomamos é baseada em um modelo. Ninguém tem uma família, uma cidade ou uma nação na cabeça. Tem-se apenas imagens, relações ou abstrações da vida real. Estas percepções são modelos... Usa-se observações para formar imagens mentais ou modelos. Os modelos mentais se tornam a base para decisões".

Neste capítulo serão feitas considerações sobre Sistemas e Modelos Matemáticos, suas vantagens e limitações.

IV.1 SISTEMAS

IV.1.1 O CONCEITO DE SISTEMAS

O termo sistemas tem sido conceituado de forma variada por muitos autores. Forrester²⁷, em poucas palavras dá a seguinte idéia: "Um sistema significa um grupo de partes que operam juntas para um propósito comum ... Um automóvel é um sistema de componentes que trabalham juntos para produzir transportes". Exemplos de sistemas são os mais variados possíveis, como a economia, cujas partes trabalham juntas para produzir, distribuir e consumir bens e serviços (ver KORNBLUH⁵⁹). Os componentes de um sistema, ou seus subsistemas, têm relações definidas entre si e com o todo, isto é, o sistema não é apenas a soma das partes, mas cada parte tem características relacionadas a sua existência com o todo. Assim, uma usina hidrelétrica é um sistema, pois seus componentes trabalham juntos para produzir energia elétrica; o conjunto de usinas, subestações, linhas de transmissão, etc, é um sistema que visa produzir e transportar ao consumidor energia elétrica.

A definição formal de sistema é baseada na relação entre entrada e saída e no estado do sistema. Contém a formalização do seguinte: Dado o estado em t_0 , $x(t_0)$, e uma entrada ("input") $u(\cdot)$: o sistema responde com uma saída (output) $y(\cdot)$, a qual depende de $u(\cdot)$ e do estado $x(t_0)$ do sistema (conhecendo-se o estado em t_0 e a entrada a partir de t_0 , conhece-se a saída do sistema).

Cada componente do sistema tem propriedades, denominadas atributos. Apenas os atributos mais relevantes ao desempenho de sistema são incorporados ao seu estudo. O estado do sistema, é o conjunto de informações sobre a história do sistema, isto é, o valor ou a natureza dos atributos do sistema em um dado momento do tempo. Uma descrição do estado do sistema em um dado instante é chamada Descrição do estado. O estudo dos estados de um sistema em um conjunto de instantes permite a construção da história do estado, que é um conjunto de descrições de estado. É possível controlar o comportamento do sistema através da realimentação (feedback) que consiste em medir os valores das saídas do sistema, compará-las com valores desejados e, caso a diferença entre os valores medido e desejado superem uma tolerância definida, ajustar o sistema modificando a entrada ou algum componente.

IV.1.2 A ABORDAGEM SISTêmICA

A abordagem sistêmica é um método que deve ser "lógico, consistente, objetivo, e quantitativo na análise de sistemas e solução de problemas", segundo KORNBLUH⁵⁹ e LITTLE . Serve para facilitar a compreensão do sistema, propor alternativas e até estimar suas performances futuras, através da modelagem e de simulação.

O aspecto fundamental do método é buscar principalmente as características funcionais dos componentes do sistema (o que fazem), em lugar de apenas seu conteúdo estrutural (o que são). É importante também a identificação e entendimento das relações de causa e efeito mais significantes do sistema CHURCHMAN¹²⁰ aponta as principais características do método:

Objetivos Globais do Sistema

São os objetivos atingidos pelo sistema. Devem ser necessariamente quantificados, de modo a se poder medir o desempenho do sistema. Assim, um sistema para planejamento energético que tencione, por exemplo, "reduzir a dependência externa" deve ter definido quantitativamente como reduzir tal dependência.

Os objetivos previamente definidos nem sempre coincidem com o objetivo real. Isto só ocorre, assinala Churchman, quando os demais objetivos são sacrificados em função daquele definido.

O Meio-Ambiente do Sistema

O Meio-Ambiente são condições e atividades fora do controle do sistema e que podem influenciar seu desempenho. São delimitações ao escopo do sistema, consideradas, em muitos casos, condições de contorno ou parâmetros. No caso de um sistema para redução de dependência externa de energia, poderiam ser os recursos naturais do país.

Recursos do Sistema

São os meios de que dispõe o sistema para funcionar e atingir seus propósitos. Quer dizer, o sistema pode manipular seus recursos de modo a satisfazer os objetivos. No caso de sistema para energia citado, poderiam ser a conservação de energia, substituição por fontes alternativas, etc.

Componentes do Sistema

São os trabalhos e atividades que o sistema deve executar para atingir seus propósitos. As funções do sistema são mais importantes, para a análise, que sua estrutura. No exemplo energético os componentes seriam a reorientação da oferta e da demanda, mudança nos métodos de conversão, etc.

Gerenciamento do Sistema

É o planejamento e controle do sistema. O planejamento envolve os passos detalhados anteriormente, e o controle significa verificar se o planejamento está sendo executado corretamente e em caso contrário descobrir o porque e providenciar mudanças nos planos originais.

IV.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

IV.2.1 PORQUE CONSTROI-SE MODELOS MATEMÁTICOS

O método tradicional de tomada de decisões consiste na observação das pessoas, fatos, pressões, influências, etc, até se formar um modelo mental da estrutura envolvida, prevendo-se reações às decisões, etc. Por este método são comumente tomadas as decisões a nível pessoal, empresarial ou governamental. Existe uma grande vantagem nestes processos mentais pela quantidade de informações e percepções que podem ser armazenadas no cérebro humano. No entanto três sérias desvantagens são apresentadas por Forrester: a primeira é o próprio excesso de informações, não havendo princípio geral para recuperar as mais relevantes; não há meios de organizar de forma estruturada as informações de modo a explicar o comportamento do sistema observado; a terceira diz que mesmo que as informações fossem devidamente selecionadas e organizadas, ainda assim a mente humana não é adaptada para determinar a variação no tempo de suas suposições: "pessoas diferentes podem aceitar as mesmas suposições e estrutura e chegar a conclusões contrárias" (FORESTER²⁷)

IV.2.2 CONCEITUAÇÕES DE MODELOS

Uma tipologia dos modelos pode ser definida assim:

(i) Modelos Mentais

Pelos quais cotidianamente tomamos decisões

(ii) Modelos Físicos

Têm existência física, concreta

(ii.1) Modelos Icônicos

Têm características físicas semelhantes ao sistema que representam, mas não funcionam como ele. É o caso da maquete de um hospital.

(ii.2) Modelos Analógicos

Têm comportamento semelhante ao sistema, ainda que nem sempre se pareçam com ele. Um exemplo claro é um túnel de vento.

(iii) Modelos Simbólicos

Usam símbolos para representar os componentes e as funções do sistema real.

(iii.1) Modelos Verbais

São narrativas orais ou escritas do sistema, como palestras, relatórios, etc.

(iii.2) Modelos Matemáticos

Usam representação matemática para descrever o sistema.

Os modelos matemáticos são vantajosos pela precisão que existe na simbologia matemática, pela concisão com que poucos símbolos representam idéias complexas e por serem mais fáceis de manipular quando as expressões matemáticas são bem entendidas (a dificuldade de operação é o grande obstáculo dos modelos físicos). No entanto sérias críticas são tecidas a este tipo de modelo: os cientistas sociais reclamam da impossibilidade de se representar matematicamente muitos fenômenos pre-

sentes na realidade social, como interesses, pressões, sentimentos, e de que os modeleiros, pelas dificuldades, os deixam de lado. Esta crítica é aceita até por especialistas respeitados, como Mesarovi e Pestel (in Richardson⁹⁶), Jaques Vallee¹¹⁷ ou Sam Cole¹⁴. Outra desvantagem está na dificuldade dos tomadores de decisão entenderem a linguagem matemática, operação e limitação dos modelos.

A escolha de uma técnica de modelagem depende da situação, do tipo de decisão, nível organizacional, etc, e não há um guia não polemizado que a priori identifique qual a técnica adequada a cada caso. ROBERTS⁹⁷, contudo, após várias ressalvas, apresenta uma tabela indicativa do tipo de modelo a usar, preparada por Roger Sisson (QUADRO IV.1)..

Os modelos de simulação são um tipo especial de modelos matemáticos, de grande utilidade no apoio à tomada de decisões e planejamento. KORNBLUH⁵⁹ e LITTLE definem os modelos de simulação com respeito à variável tempo: "uma simulação consiste na construção da história do estado - previamente definida como uma sucessão de descrições do estado". Ainda que estes autores ressalvem que nem sempre a simulação representa interações do sistema no tempo, sua conceituação é neste sentido. Os modelos de simulação são modelos dinâmicos, entendida a dinâmica como mudanças nos estados do sistema (não necessariamente o tempo), e também por condições estabelecidas pelo operador. David J. Edelman¹²¹ explica estes modelos da seguinte forma: "Os modelos de simulação respondem questões do tipo "que seria se?" Um sistema real que é muito complexo para construir é abstruído. Isto é, um modelo (análogo matemático) do sistema é construído de modo a entender como o sistema se comportará sob dadas condições (manipulações do modelo).

Um modelo de simulação normalmente procura imitar o comportamento do sistema sob certas circunstâncias, em lugar de buscar a solução. Não dá soluções diretas, mas as respostas do sistema a certas condições, permitindo entender seu comportamento e a testagem de hipóteses - e nisto está sua maior força.

QUADRO IV.1

SUMÁRIO DOS TIPOS DE DECISÃO PARA OS
QUAIS MODELOS FORAM DESENVOLVIDOS

SITUAÇÃO	DECISÃO	NÍVEL ORGANIZACIONAL DO USUÁRIO	TIPO DE MODELO
Fila, espera por serviço	Quant. serviço e como organiza-lo	Baixo	Fila, Simulação Discreta, "Sequencing"
Equipamentos que desgastam	Tempo de reposição e reparo	Baixo	"Replacement"
Itens armazenados para uso futuro	Qualidade e tempo de ordens	Baixo	Simulação Discreta, Estoque
Alocação de recursos	Quanto alocar de cada recurso a cada atividade	Médio	Programação Matemática
Distribuição de bens, dinheiro ou serviços no mercado	Restrições de preços regulações de mercado, níveis de subsídios	Alto	Econometria, Substituição, input-output, dinâmica industrial, simulação discreta, Markov
Determinação de quando obter mais informação sobre uma decisão	Quanto gastar em aquisição de informação	Alto	Arvores de decisão, Análise Bayeriana
Competição por recurso limitado	Estratégia	Alto	Teorias de Jogos

FONTE: Edward B. Roberts⁹⁷, "On Modelling", Technological Forecasting 9 (1/2): 231 - 238, 1976

IV. 2.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

No desenvolvimento de um modelo segue-se um conjunto de etapas lógicas, em acordo com a abordagem sistêmica .

Em seu artigo já citado, base deste capítulo, Kornbluh e Little explicitam as seguintes fases: conceitualização, implementação e análise (testagem)

Conceitualização

A conceitualização é a identificação dos aspectos essenciais do sistema:

- Componentes e atributos críticos
- Principais decisões tomadas
- Relações importantes entre componentes
- Problemas que o sistema aparenta ter
- Áreas de comportamento do sistema pouco conhecidas
- Variáveis não controláveis
- O Meio-Ambiente
- As restrições ao comportamento do sistema
- Os elementos de aleatoriedade do sistema
- A estabilidade
- As transações que o sistema faz
- O modo que o sistema pode efetivamente ser medido

Após a análise dos pontos acima o próximo passo é a formulação dos objetivos do modelo. A seguir o modelo é dividido em subsistemas, que são estudados em separado e os principais atributos das variáveis são deduzidas e as relações causa-efeito identificadas.

Segue então a escolha da técnica de simulação, ponto crítico e controvertido, como assinala Edward Roberts. Após, é definido o horizonte de tempo.

O próximo passo, importantíssimo, é a coleta de dados. Esta tem sido o ponto crítico nos resultados de muitos modelos e na geração de controvérsias.

Após a coleta de dados as equações matemáticas a

serem utilizadas são formuladas.

O último passo é a testagem inicial do modelo, envolvendo cálculos numéricos e revisão de estrutura.

Implementação

Aqui o modelo conceitual é codificado em linguagem de computador. Cuidados devem ser tomados quanto a limitações de tempo e memória, no projeto dos programas. Os testes dos programas devem conter rodadas com dados reais, para medir a correção dos cálculos.

Os testes e cheques de validade são então realizados. Roberts cita os seguintes passos, sugeridos por Roger Sisson:

- O analista se certifica de que o modelo desempenha o que é intencionado, usando dados para testes, se possível, séries históricas
- Teste de aceitação:
 - (i) verificar se os subsistemas chaves calculam corretamente sua parte do todo
 - (ii) verificar se os parâmetros têm valores aceitáveis
 - (iii) pessoas conhecedoras da situação, incluindo tomadores de decisão, devem rever o modelo e concordar com sua estrutura e parâmetros

Análise de resultados

Várias rodadas são feitas e as saídas são analisadas, interpretadas e tiradas conclusões envolvendo perguntas como: qual o comportamento do sistema sob certas condições dadas, qual o efeito de certas políticas alternativas, etc.

IV.2.4 PRINCIPAIS TIPOS DE MODELOS DE SIMULAÇÃO APLICADOS

A

TOMADA DE DECISÃO

As possibilidades de formulação de modelos de simulação são vastas, havendo disponíveis um número de técnicas bem amplo. Dentre as técnicas definidas estruturalmente ganharam destaque, pela flexibilidade e facilidade para serem aplicadas a sistemas mais complexos - inclusive sócio-econômicos - a Econometria, a Análise de "Input-Output" e a Dinâmica de Sistemas. Estes modelos foram inclusive utilizados em grandes sistemas de simulação do mundo, razão, em parte, de sua popularização. Uma breve descrição destes modelos será realizada a seguir.

Modelos Econométricos

O modelo se caracteriza pelo estudo da interrelação entre variáveis de um dado sistema e na busca de estimativas para parâmetros, baseado amplamente em análise de dados de séries históricas, com uso frequente de técnicas estatísticas. Em grande número de casos as relações entre variáveis tem base na teoria econômica, daí porque o termo econometria é utilizado para designar tal tipo de análise estatística.

Normalmente a relação entre variáveis é simples, do tipo linear ou transformável em linear pelo uso apropriado de logaritmos. Esta simplicidade é a principal vantagem da técnica pela facilidade de manipulação que oferece. No entanto, a técnica se baseia em presupostos discutíveis: o primeiro de que a relação entre certas variáveis pode ser definida a partir de análise de séries estatísticas; o segundo de que o futuro se comporará de modo dedutível apenas da análise do passado.

Uma terceira desvantagem está no fato de que em muitos casos são numerosos as equações envolvidas.

Os primeiros a aplicarem a abordagem econométrica à modelagem foram Jan Tinberger e Lawrence Klein, tendo Tinberg sido agraciado com o Prêmio Nobel em 1969. (KORNBLUH⁵⁹).

Há algumas aplicações em estudos energéticos.

Análise Input-Output

O inventor da análise Input-Output, W.W. Leontief - ganhador do Prêmio Nobel de Economia em 1973 por seu trabalho - define o método como "uma adaptação da teoria neoclássica do equilíbrio geral para o estudo empírico da interdependência quantitativa entre atividades econômicas interrelacionadas" (in Edelman

A ideia fundamental do método está na interrelação entre setores (ou tipo de indústria) de um dado sistema, considerada linear e descrito por um conjunto de operações lineares que relacionam os fluxo entre os setores. Cada setor recebe as saídas, ou produção (output) dos demais, em proporções fixas que são introduzidas como entrada (input) de seu sistema produtivo; de forma idêntica seu output é vendido a outros setores, também em proporções fixas. Medidas da produção estabelecem coeficientes de uma matriz quadrada, denominada matriz input-output ou matriz de Leontief, que mostram como a output de um dado setor é distribuído entre os demais.

Os principais presupostos do método são: o output de um setor é consumido como input pelos demais; os inputs de um setor dependem linearmente de seu output; a razão entre o input e o output é fixa (é chamada coeficiente de produção ou número input-output). A principal desvantagem do método está em ser linear, estático e intrinsecamente não admitir mudança tecnológica.

Em 1977, as Nações Unidas apoiaram a construção de um modelo para estudo da economia mundial, liderado por Leontief . É crescente o número de aplicações a problemas energéticos.

Dinâmica de Sistemas

Jay Forrester, do MIT, foi o criador da técnica , por hoje muito conhecida pela aplicação que lhe foi dada em modelos de simulação de mundo. A técnica foi sugerida por Forrester

em "World Dinamics", depois expandida por seu ex-aluno Dennis Meadows em "The Limits of Growth" e posteriormente por Mesarovic e Pestel em "Mankind at the Tunning Point" (in Edelman¹²¹).

A motivação básica ao modelo é o ponto de vista de Forrester, segundo o qual a mente humana não é adaptada para interpretar o comportamento dos sistemas sociais, que são sistemas de feedbacks com muitos loops e não linearidades.

Buscando evitar as principais desvantagens dos de mais modelos, que não levam em conta a não linearidade e os feedbacks dos sistemas reais, Forrester desenvolveu sua técnica, que não é baseada em otimização, nem em equações derivadas de séries históricas (Econometria) nem baseada em relações interdependentes de uma economia descrita por conjunto de equações lineares (Input-Output). Um modelo dinâmico é baseado na estrutura do sistema em estudo, com as relações individuais entre os componentes do sistema, havendo larga aplicação de teoria de controle.

Os principais conceitos envolvidos são:

- Todo sistema que muda no tempo pode ser representado por níveis variados e taxas; Um nível corresponde a uma acumulação no sistema (como recursos naturais, pessoas, etc) ; Uma taxa é um fluxo de uma área a outra: simboliza as atividades no sistema.

- As atividades do sistema - as taxas - são controladas por regras de decisão - "as políticas". Uma política define a decisão tomada pelo político (policy-maker) quando recebe um tipo específico de informação.

- O Meio-Ambiente, uma vez determinado, é considerado constante em intervalos de tempo do horizonte em simulação.

- Os loops de feedback são os principais aspectos dos blocos do sistema; Há frequentes atrasos ou distorções após um loop de feedback.

- Um modelo dinâmico consiste de múltiplos feedbacks associados: "feedbacks positivos e negativos". Equações de "nível" e de "taxas" quantificam as atividades, interrelações e fluxos do sistema. Os dados são obtidos por combinações de dados existentes e por hipóteses.

- O sistema é simulado sob políticas alternativas, níveis e meio-ambientes e o resultante comportamento do sistema é descrito.

A grande vantagem do sistema está na sua flexibilidade para modelar situações complexas cujo comportamento não é facilmente entendido ou explicado, e por forçar um entendimento mais amplo do sistema em estudo. No entanto, devido aos dados serem calculados mais por julgamentos intuitivos, por não ser fácil a verificação dos resultados por muitas relações não serem baseadas em teorias existentes, esta metodologia é criticada por formuladores de outras técnicas como sendo mais uma técnica de análise qualitativa mistificada e glorificada (ver Edelman e Kornbluh⁵⁹).

Há, nos Estados Unidos, vários modelos dinâmicos aplicados a sistemas de energia.

IV.3 PERSPECTIVAS DA MODELAGEM

Segundo Edward Roberts, não há grandes novidades em tecnologia de modelagem. Após um período bastante fértil na década passada, não tem havido grandes avanços em termos de técnicas novas, como Input-Output, Dinâmica de Sistemas, Econométrica, Simulação Discreta, etc. Surgiram, e continuam surgindo, melhoramento nas técnicas existentes ou variantes das mesmas por seu uso conjugado - como a de análise input-output com abordagem econômétrica. Também têm melhorado as metodologias de aplicação dos modelos e modos de testar validade.

O grande avanço, contudo, tem se situado na aplicação dos modelos a um número cada vez maior de situações concretas. De fato, pela própria necessidade de entender problemas

técnicos, econômicas e sociais, as aplicações tem aumentado de forma expressiva.

Normalmente o planejador ou tomador de decisões se vê diante de dilemas aos quais só pode decidir baseado em sua sensibilidade. Quando toma consciência de que o risco na decisão, se não pode ser extinto, ao menos pode ser reduzido através do uso adequado de modelos ele passa a procura-los.

Assim é com muitos problemas complexos. Os problemas energéticos do Brasil poderiam ser melhor equacionados, se adotadas estudos de modelagem não apenas a aspectos técnicos particulares, mas ao problema com o todo.

A literatura existente indica que o maior adversário dos modelos não está em sua filosofia intrínseca, pois são simplificações intencionais, mas seu uso indevido na busca de respostas para as quais não foi projetado responder - na área sensível às simplificações efetuadas. Se bem formulados e utilizados com inteligência poderão ajudar a encontrar as respostas corretas.

CAPÍTULO V
MODELAGEM ENERGÉTICA

V.1 O OBJETO DO ESTUDO

Em seus fundamentos a modelagem energética não se diferencia dos demais trabalhos de modelagem. De fato, no que diz respeito a métodos, e até mesmo a motivações genéricas, os modelos de energia não apresentam muitas particularidades com relação aos demais. A energia, no entanto, por sua natureza, formas e modo como se insere no consumo da sociedade oferece um spectro tão vasto de opções à aplicação de modelos que seria foco não reconhecê-los como conjunto.

A variedade de aplicações de modelos relativos à energia torna extremamente difícil um estudo completo sobre todos os tipos, assim como uma categorização geral. Neste sentido vale exemplificar alguns dos usos de modelos, dando uma idéia da multiplicidade de opções: modelos de estudo do comportamento termodinâmico da energia; modelos de equipamentos; modelos de custo e de investimentos em energia; modelos de operação de instalações de suprimento de energia, como os de operação de refinarias, de operação de reservatórios hídricos, de transporte de energia por dutos; e os que chamaremos de modelos integrados de economia da energia.

A opção deste trabalho está voltada aos modelos integrados de economia da energia, ou seja, modelos mais gerais relativos ao relacionamento energia - economia - sociedade, construídos com vistas a apoiar a política e o planejamento energético integrado, ou a sua análise, ou simplesmente como investigação visando o aumento do conhecimento. (*)

V.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL

Mesmo entre os modelos integrados de economia da energia o número e a variedade de modelos é muito grande e per-

(*) É extremamente difícil conceituar precisamente tal conjunto de modelos. Girod afirma que é mais fácil citar inclusões e exclusões que dar uma definição geral.

sistem as dificuldades para uma classificação. A este respeito não se encontrou na literatura disponível uma visão uniforme das categorias de modelos: por exemplo, EDELMAN¹²¹ os divide apenas quanto à técnica em "de otimização", "econométricos", "input - output" e "dinâmico de sistemas", VOGELY (in LA ROVERE⁶³), também quanto a técnicas considera os de "otimização, simulação com parâmetros ajustados econometricamente ou por análise paramétrica e análise input-output" enquanto GIROD²⁶ adota outra classificação, mais geral. Levando em conta que as técnicas citadas por Edelman e Vogely são descritas no Capítulo IV, nesta seção será adotada a caracterização de Girod.

Para Girod, do ponto de vista de métodos e técnicas as variedades de modelos correspondem ao cruzamento de quatro aspectos: os objetivos, o nível de análise, a natureza dos fatores explicativos e os métodos matemáticos:

OS OBJETIVOS

Os dois principais objetivos são a análise do passado e a previsão da demanda futura. A previsão pode ter meta apenas exploratória, científica, ou servir de apoio à tomada de decisão. Há ainda modelos voltados a explicar a evolução do consumo no passado.

OS NÍVEIS DE ANÁLISE

A energia pode ser vista como um bem homogêneo e ser analisada ao nível macroeconômico com a economia como um todo (por exemplo, relação com PNB, consumo per capita) ou ser analisada ao nível microeconômico, de uma empresa ou setor, como um fator de produção (ao lado do trabalho, capital e outros inputs materiais).

Considera-se também a energia como um conjunto de formas (petróleo, gás natural, etc), ou seja, bens diferenciados e subdivididos segundo diversos critérios.

A NATUREZA DOS FATORES EXPLICATIVOS AO NÍVEL DA
DEMANDA

O número de fatores é muito grande, variando a utilização de acordo com o enfoque de modelo. O preço é considerado o fator mais importante.

OS MÉTODOS MATEMÁTICOS

Os modelos podem ser estatísticos e econométricos, de otimização e de simulação. (Girod não levou em conta os modelos de input-output nem os modelos de dinâmica de sistemas).

Ainda segundo GIROD²⁶ "a escolha de um tipo de modelo decorre, por exemplo, da interrogação sobre as possibilidades que tem um método matemático de levar em conta o fator explicativo, sobre a maneira mais apropriada de satisfazer o objettivo, ou ainda sobre a lista de fatores a reter quando se está situado em um dos níveis de análise". É conveniente citar ainda que em países com pequena informação estatística na área, como o Brasil, a questão da escolha provavelmente começa com os dados que o modelo leva em conta.

A CLASSIFICAÇÃO DE GIROD

Girod classifica os modelos em três categorias, a saber:

- Primeira categoria

(i) Tém por objetivo a previsão; (ii) o nível de análise é global (sem particularizar qualquer forma de energia) (iii) fatores explicativos são indicadores de atividade e certos fatores socio-econômicos; (iv) o método matemático é a regressão (com o corolário, para a previsão, do prolongamento de tendência). Exemplos são: os modelos relativos ao consumo global, os modelos de consumo setorial ou por uso energético.

- Segunda categoria

São modelos que formalizam matemáticamente certas conclusões da análise teórica do consumo. Os objetivos e métodos de análise são semelhantes aos da categoria anterior. Os fatores explicativos ou são os preços da energia ou dos equipamentos. Para os preços há os modelos de "elasticidade - preço" e os de "partição do mercado." Com relação aos equipamentos há os estudos da demanda substitutível e os de agregação dos equipamentos energéticos a outros bens de capital para o estudo dos fatores Capital, Trabalho, Energia e "Inputs" Materiais.

- Terceira categoria

São os modelos de otimização e os de simulação. Distinguem-se das categorias anteriores pelo método matemático, já que naqueles o método era essencialmente econômétrico.

Cabe ainda citar que a categorização quanto às variáveis espaço ou horizonte não acrescenta informação. Normalmente a utilização de um modelo nacional ao nível de região ou estado do país não implica em alteração em sua estrutura, mas no nível das informações. O mesmo se dá com o tempo, sendo bastante variável os conceitos de curto, médio e longo prazo.

V.3 ALGUMAS EXPERIÊNCIAS

Um enfoque possível para um estudo como este, sobre modelagem, seria uma análise esquematizada dos principais tipos de modelos existentes, suas características, supostos, etc. Esta opção é adotada por GIROD²⁶ em seu livro, mas neste trabalho não será seguido pois o objetivo aqui está mais voltado para análise de alguns modelos que para uma "varredura" geral. Leve-se em conta ainda que muito pouco poderia ser acrescentado ao trabalho de Girod e também que não é muito fácil obter, no Brasil, toda a literatura técnica que seria necessária.

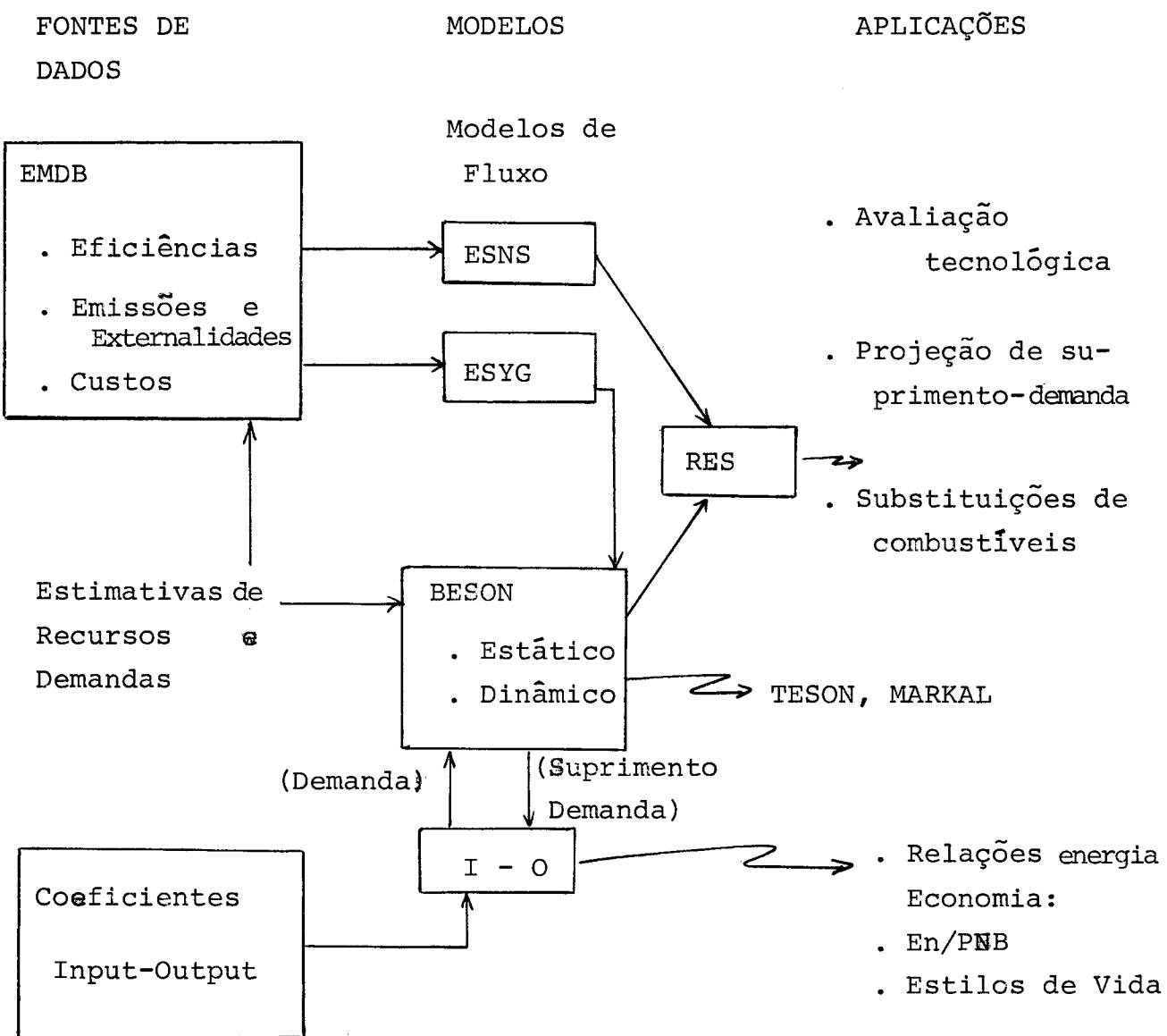
Assim, nesta seção serão apenas descritos e anali-

sados alguns dos trabalhos que vêm sendo realizados de modelagem energética.

V.3.1 OS MODELOS DO BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

O Brookhaven National Laboratory tem acumulada uma conhecida tradição e sucesso em modelagem energética, tendo alguns de seus modelos ganho repercussão. A estrutura geral do sistema de modelos Brookhaven pode ser sintetizada no diagrama a seguir.

DIAGRAMA V.1 ESTRUTURA GERAL DO SISTEMA DE MODELOS BROOKHAVEN



FONTE: HOFFMAN , em "Survey of Energy Modelling"

Descrição dos elementos do diagrama

EMDB - Energy Model Data Base

É um modelo, independente, de dados, como eficiências, emissões, etc.

ESNS - Energy System Network Simulator

Programa de fluxo de energia para converter os dados do EMDB no formato RES

ESYG - Energy System Generator

Programa que extrai dados do EMDB e os converte ao formato BESON

BESON - Brookhaven Energy System Optimization Model

Um modelo de Programação Linear para análise da configuração ótima de suprimento-demanda do sistema de energia

RES - Reference Energy System

Descrição, em rede, do sistema de energia, incluindo todos os processos, desde extração, conversão, transporte, até o uso final.

O RES contém os dados relativos à rede de energia, como eficiências, custos e dados ambientais, e foi construído à base de modelos de fluxo em rede.

A seguir é feita uma descrição dos principais modelos Brookhaven, o BESON, seus dois variantes, TESON e MARKAL, e o modelo I-O.

V.3.1.1 BESON - Brookhaven Energy System Optimization Model

Descrição Geral

O "BESON é um modelo de programação linear, projetado para a análise quantitativa de políticas e de tecnologia

energéticas, dentro de uma estrutura sistêmica (KYDES⁶⁰). O Modelo é estático, mas pode ser utilizado de forma sequencial para analisar um dado horizonte de tempo. Através de programação linear o modelo possibilita a análise de diferentes cenários, com a minimização de diferentes funções objetivo, a exemplo de custo total, importações de petróleo, necessidades de capital, efeitos ambientais e uso de recursos naturais. Leva em conta características técnicas, econômicas e ambientais dos processos de conversão, transportes e utilização de energia que compõem o sistema energético global.

O modelo pode ser utilizado em otimização ou simulação. Em otimização a estrutura ótima de oferta-demanda de energia é calculada, sujeita a restrições especificadas (incluindo limites avaliados de recursos, penetrações no mercado de tecnologias, capacidade de geração elétrica). Em simulação o modelo pode ser alimentado com informações sobre uma dada estrutura e, então, calcula os impactos de tal estrutura, como custos, níveis de emissões ambientais etc. Para a operação no modo simulação é possível introduzir no sistema energético novas e avançadas tecnologias, e analisar seus desempenhos.

Características do Modelo

KYDES⁶⁰ enumera as principais características do modelo:

- O modelo tem uma estrutura tecnológica que inclui todos os recursos alternativos e as demandas elétrica e não elétrica
- O modelo admite todas as substituições viáveis entre formas de energia
- Características técnicas, econômicas e ambientais dos dispositivos de suprimento e utilização estão incorporadas
- Características de duração de carga de energia elé

trica são incluídas

- É aplicável tanto em planejamento regional quanto nacional.

Informações de entrada

As informações de entrada são:

Eficiências: Inclui as eficiências de suprimento, relacionando energia secundária a energia primária, (como eficiências de refino, de conversão, transmissão e distribuição, etc). Inclui, ainda, eficiências de utilização final, a nível dos dispositivos de conversão.

Custos : Custos de capital, de operação e manutenção, custos de transmissão e distribuição, custos de recursos e custos de dispositivos de uso final.

Meio-Ambiente: A cada processo são associados os impactos ambientais ao longo dos processos (como os níveis de CO, CO₂, NO_x, SO₂, etc).

Função Objetivo (a minimizar)

São possíveis:

- custo global (A principal F.O.)
- custo anual de capital, sem custos nos dispositivos finais
- custo "não anualizado" de capital, sem custo nos dispositivos finais
- refino total de petróleo e gás
- total produção doméstica de gás e petróleo
- extração e importação total de petróleo
- uso total de recursos não renováveis
- uso total de recursos
- índices ambientais
- uso total de recursos renováveis "limpos".

Equações de Restrições

- Equações de conservação de energia

Entrada de energia em um processo = Saída + perdas

- Equações de Suprimento

Relacionam os limites de recursos disponíveis de energia primária

- Equações de demanda

Especificam o nível de demanda não substituível a ser suprida. É assumido que a energia pode ser utilizada a um nível de eficiência de 100% após perdas de conversão.

- Equações do suprimento-demanda elétrica

Relacionam o tipo e quantidade de capacidade de geração elétrica com as características de carga da demanda, para cada tipo de demanda por estação do ano e hora do dia.

- Equações Ambientais

Restringem o limite de emissões de vários tipos, como SO_2 , CO, etc.

- Equações de Penetração de Mercado

Limitam a penetração de mercado de uma dada tecnologia relacionando os níveis mínimo e máximo de uso.

Saídas do Sistema

As seguintes informações de saída são fornecidas pelo modelo, após otimização:

- "Níveis de atividade" por formas intermediárias

de energia associadas com as trajetórias do sistema de energia

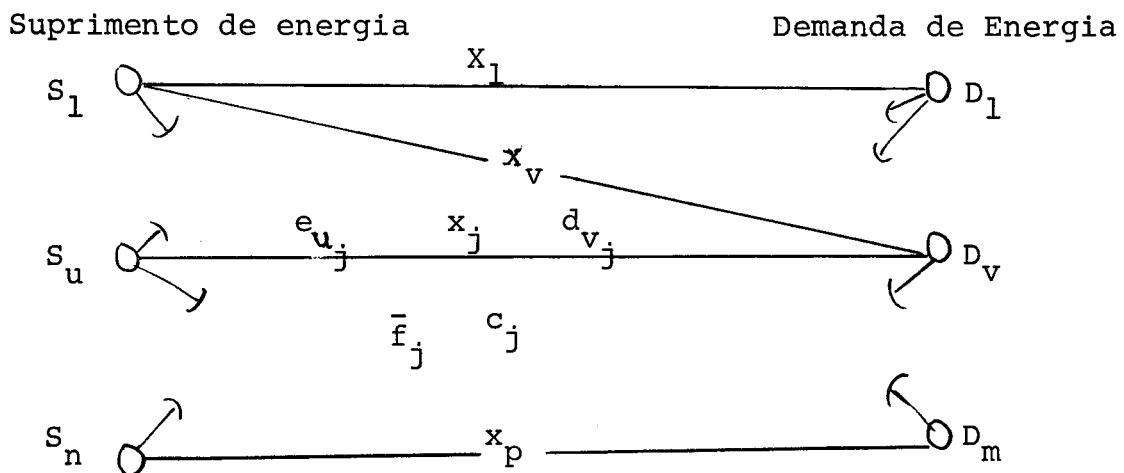
- Recursos totais por cada categoria de recurso e combustível
- Fatores de carga e capacidade ótimos para as instalações de geração elétrica
- Efeitos ambientais, por cada trajetória de suprimento-demanda
- Valores marginais de variáveis e restrições, e, para cada variável não ativa, a redução de custo na solução obtida
- Custo total do sistema associado com a confirmação ótima.

Formulação Matemática

"O modelo foi formulado dentro do problema clássico de transportes para determinação da rota ótima de um produto, no caso uma forma intermediária de energia, de um conjunto de n nós de suprimento a m nós de demanda onde um custo e um conjunto de impactos ambientais são identificados por unidade de energia passando por cada um dos n x m caminhos possíveis". (CHERNIAVSKY¹⁰). A representação de problema de transportes foi alterada com particularidades do caso energético, com a inclusão de eficiências de conversão, restrições ambientais e equações técnicas (fechamento de balanço, etc). O diagrama (V.2) esclarece melhor.

Os n nós de suprimento e m nós de demanda podem incluir todas as categorias de suprimento e demanda e um caminho viável j é identificado pela existência de tecnologia. Um recurso s_u é convertido em energia x_j (numa eficiência e_{uj}), que é usado para satisfazer a demanda D_v (numa eficiência d_{vj}), com um custo c_j e restrições \bar{f}_j .

DIAGRAMA V.2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR DO BESON



Onde:

- S_u Restrições de Suprimento, $u=1,n$
- D_v Restrições de Demanda, $v=1,m$
- x_j Quantidade de energia secundária j
- e_{uj} Eficiência de Suprimento da Energia x_j
- d_{vj} Eficiência de uso da energia x_j
- \bar{f}_j Outros coeficientes de equações por x_j
restritos por \bar{B} , sendo \bar{f} e \bar{B} vetores coluna de dimensão ℓ
- c_j Custo unitário de energia x_j

A formulação matemática do modelo é a seguinte:

$$\text{Min} \quad \sum_{j=1}^{n.m} c_j x_j$$

Sujeito a:

$$\sum_j \frac{1}{e_{uj}} x_j \leq s_u \quad u=\overline{1,n} \quad \text{Suprimento}$$

$$\sum_j d_{vj} x_j = D_v \quad v=\overline{1,m} \quad \text{Demanda}$$

$$\sum_j f_{wj} x_j \leq B_w \quad w=\overline{1,\ell} \quad \text{Outros}$$

Ou, ainda, :

$$\text{Min} \quad \sum_{j=1}^{n.m} c_j x_j$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^{n.m} a_{ij} x_j \leq b_i$$

Onde

$$\left[\begin{array}{cccc} \frac{1}{e11} & \frac{1}{e12} & \dots & \frac{1}{e1,n.m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{1}{en1} & \frac{1}{en2} & \dots & \frac{1}{en,n.m} \\ d11 & d12 & \dots & d1,n.m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ dml & dm2 & \dots & dm,n.m \\ f11 & f12 & \dots & f1,n.m \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f\ell 1 & f\ell 2 & \dots & f\ell ,n.m \end{array} \right]; \quad B = \begin{bmatrix} Su \\ Dv \\ Bw \end{bmatrix}$$

Considerações sobre o Modelo

O BESON assume uma estrutura lógica, flexível e elegante para o problema energético. A simplicidade do modelo é grande e isto facilita o entendimento de suas premissas, o que pode ajudar no diálogo com o tomador de decisões. Suas aplicações em política e planejamento energético são evidentes.

Alguns aspectos, no entanto, merecem críticas: - A quantidade de dados necessários para os caminhos

presupõe uma base estatística inacessível em muitos países

- Para um horizonte de planejamento razoável (digamos 10 anos) as restrições e os parâmetros tecnológicos (como, p.ex. as eficiências) poderão mudar muito e seu cálculo é meramente especulativo.
- A linearidade da função objetivo é uma proposição forte.
- O modelo é dependente de um número muito grande de variáveis de custo o que deve dificultar a análise de sensibilidade na função objetivo.

V.3.1.2 TESON - Brookhaven Time - Stepped Energy System Optimization Model

O modelo TESON, assim como o MARKAL (a ser descrito na próxima subseção), é um variante do BESON com características dinâmicas, isto é, utilizado para um período de tempo, ao contrário do modelo anterior, estático. Realizando otimizações sucessivas a cada ponto definido no tempo, o modelo possibilita projeção, no futuro, das tendências identificadas ou assumidas no presente.

A cada ponto definido no tempo o modelo define o nível ótimo das variáveis de decisão tomando por base: (a) O nível ótimo das variáveis de decisão do ano otimizado no passo anterior. (b) Estimativas de taxas de "deterioração" e tempos médios de vida de "estoques velhos", com os custos associados. (c) Premissas atuais sobre o relacionamento entre energia e fatores econômicos e sociais, incluindo curvas de suprimento tanto de curto quanto de longo prazo.

O modelo é formulado como uma sequência de problemas de programação linear representando o sistema geral de energia, (obtido do BESON), sendo cada problema relacionado a um dado ano.

O algoritmo pode ser descrito, resumidamente, da seguinte forma:

1. Para um dado ano inicial é determinada a solução ótima.
2. Tendo por base a solução anterior, acrescida de estimativas de "taxas de retirada", tempos médios de vida, funções de queda no tempo de eficiências, retiradas de instalações como função do tempo, custos de operação e manutenção crescentes em função do tempo, custos da estocagem do ano anterior, é calculada nova solução ótima.
3. Se o tempo é menor que o horizonte previamente definido, voltar ao passo 2 com o tempo acrescido de um intervalo dado.

Para um modelo deste tipo, com a geração automática dos "inputs" de cada ano, a maior crítica se situa na inexistência de submodelos de penetração de novas tecnologias de energia. Segundo KYDES⁶⁰ o modelo estava sendo revisto (Maio/1978), incorporando um conjunto de submodelos de penetração de mercado. Cabe também alertar que a geração automática dos cenários, a par da definição de funções de variação no tempo de vários parâmetros, é limitativa pois não prevê alterações estruturais no sistema energético.

V.3.1.3 MARKAL - Market Allocation Model

Descrição Geral

O MARKAL foi projetado visando a análise da evolução dos sistemas de suprimento e distribuição de energia ao longo de um período de tempo. Assim como o TESON, com o qual guarda semelhanças, o modelo é um variante do BESON. O Modelo foi desenvolvido em um esquema de cooperação internacional entre a IEA - International Energy Agency, o BROOKHAVEN e a KFA -

KERNFORSCHUNGSANLAGE, alemã, e incorpora vários modelos de flexibilidade de suprimento, de flexibilidade de demanda e de penetração de novas tecnologias.

Objetivos do Modelo

O modelo foi projetado para facilitar estudos de: (1) efeitos de novas tecnologias no atendimento de demandas futuras; (2) atratividade relativa de novas tecnologias; (3) evolução do sistema energético com entrada de novas tecnologias, as taxas máximas de penetração e os custos de tais tecnologias e a evolução do sistema com alteração (tecnológica) em eficiências; (4) efeitos de medidas de conservação de longo prazo; (5) escassez de recursos energéticos no futuro; (6) avaliação tecnológica.

Entradas do Modelo

As principais entradas do modelo são:

- (1) disponibilidade de recursos, por meio de curvas de suprimento e restrições ao crescimento do suprimento;
- (2) caracterização de tecnologias de conversão (no suprimento) e de utilização (no uso final)
- (3) a parcela de demanda não passível de substituição.
- (4) a escolha de função objetivo

Processo

De acordo com as entradas e restrições, o modelo seleciona a trajetória ótima do sistema de energia ao longo de pontos no tempo previamente definidos. A otimização pode ser feita com relação a vários atributos do sistema. Há flexibilidade no nível de agregação dos setores de demanda e oferta, podem

do-se especificar ao nível desejado, de acordo com os dados disponíveis.

V.3.1.4 Modelo de Input - Output

Em seu artigo "Survey of Energy Modelling", HOFFMAN⁵² descreve o trabalho então em andamento (1977) de acoplamento do BESON a um modelo de Input-Output (I-O) de energia, desenvolvido no "Centre for Advanced Computation", da Universidade de Illinois.

Os objetivos preliminares do acoplamento seriam investigar o impacto de sistemas de energia alternativos nos requisitos industriais, e o desenvolvimento de projeções de demanda consistentes com o vetor de demanda final do modelo input-output, vetor este que representa o PNB.

A matriz input-output é representada a seguir, particionada em quatro fatores de input e quatro setores de output:

DIAGRAMA V.3 ESTRUTURA DO MODELO INPUT-OUTPUT PARA ACOPLAGEMTO AO MODELO BESON - "MATRIZ A"

$$\begin{array}{c} R \quad S \quad P \quad I \\ \hline R & O & Ars & O & O \\ S & O & O & Asp & O \\ P & Apr & Aps & O & ApI \quad ApI \\ I & Air & Ais & O & AII \quad AII \end{array}$$

Onde: R - Suprimento de recursos primários, ou energia primária

S - Energia Secundária (eletricidade, hidrogênio, etc)

P - "Produto Energético", ou Demandas Básicas de Energia (aquecimento, iluminação, etc)

I - Setores industriais

Fonte: Hoffman⁵², Kenneth "Survey of Energy Modelling".

Os modelos BESON e Input-Output devem ser rodados em iterações sucessivas conforme o algorítimo:

- 1 - Projetar vetor de demanda final para o modelo I-O, representando PNB
- 2 - Inserir coeficientes aproximados de suprimento-deman da no modelo I-O (Ars e Asp)
- 3 - Rodar I-O para determinar as Demandas Energéticas Básicas associadas ao PNB
- 4 - Rodar BESON com as Demandas Energéticas Básicas, para determinar a configuração de oferta-demanda de energia.
- 5 - Converter os coeficientes de oferta-demanda do BESON para I-O e inseri-las ao modelo I-O.
- 6 - Realizar rodadas iterativas e testes de convergência das Demandas Energéticas Básicas

V.3.2 O MODELO ETA-MACRO, DA STANFORD UNIVERSITY

Descrição Geral

O Modelo ETA-MACRO foi desenvolvido pelo Department of Operations Research da Stanford University, tendo por principal pesquisador Alan S. Manne.⁷³ É um modelo de otimização, que usa processos de otimização não linear para simular a economia. Dois submodelos são incorporados:

- | | |
|-----------|---|
| ETA-MACRO | <ul style="list-style-type: none"> - Um processo de análise para avaliação de tecnologia de energia (<u>Energy Technology Assessment</u>) - Um modelo de crescimento MACRO econômico, para substituição entre inputs de capital, trabalho e energia |
|-----------|---|

De um modo geral, o modelo leva em conta:

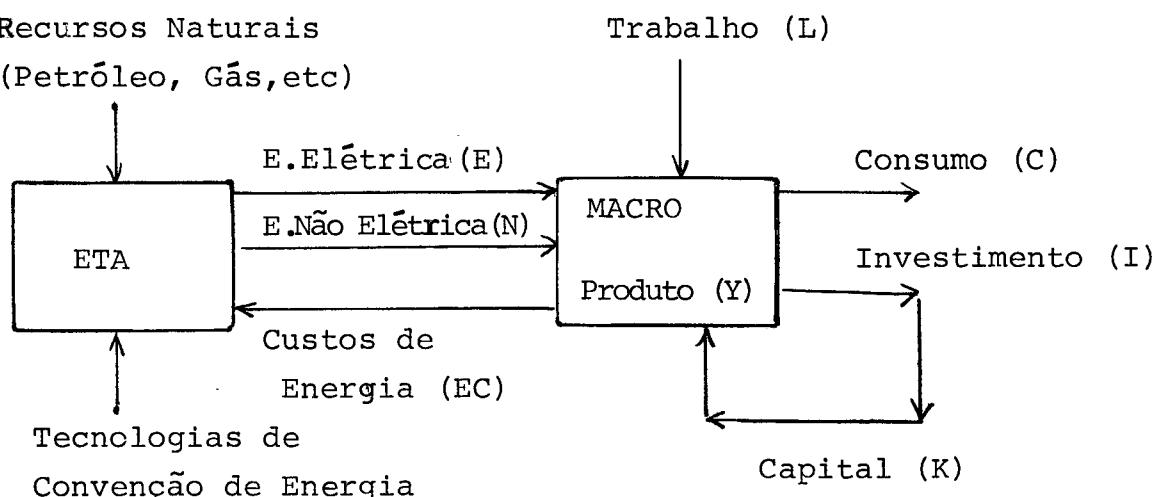
- Interações entre energia e a economia
- Conservação de energia como reflexo do crescimento dos preços.
- Substituições entre formas de energia, como reflexo de mudança de condições.
- Novas tecnologias de suprimento, suas dificuldades e incertezas.

Formulação do Modelo Macroeconômico

A economia é descrita de forma agregada, e o setor energético em apenas duas categorias, elétrica e não elétrica (*).

Uma visão geral do modelo pode ser observada no diagrama a seguir:

DIAGRAMA V.4 ESTRUTURA GERAL OU ETA-MACRO (ESTATICA)



FONTE: "ETA MACRO: A Model of Energy Economy Interations"
D.O.P./Stanford. (Ref 73)

(*) Uma premissa dos modeleiros do ETA-MACRO é de que é impossível produzir um modelo para responder a todas as questões de política energética, a nível específico. Assim, este modelo busca uma análise a nível macro, deixando de lado "análises mais detalhadas".

O setor energético supre o restante da economia com energia elétrica (E) e não elétrica (N). O produto agregado da economia é alocado ao pagamento de custos de energia (EC) e às demandas finais para consumo (C) e Investimento (I). Logo:

$$(V.1) \quad Y = C + I + EC$$

Por sua vez o produto depende de Capital (K), Trabalho (L) e Energia (E, N). É calculada uma função não linear relacionada tais variáveis com base nas seguintes premissas:

- Há retornos em escala (constant returns to scale) em termos dos quatro inputs
- Há uma elasticidade unitária de substituição entre capital e trabalho - α
- Há uma elasticidade unitária de substituição entre energia elétrica e não elétrica - β
- Há uma elasticidade constante de substituição entre dois pares de inputs acima - γ

A função de produção de longo prazo é então:

$$(V.2) \quad Y = \left[a (K^{\alpha} L^{1-\alpha})^{\rho} + b (E^{\beta} N^{1-\beta})^{\rho} \right]^{1/\rho}$$

$$\rho = (\gamma - 1)/\gamma \quad (\gamma \neq 0, 1, \infty)$$

Os parâmetros da equação são calculados para um ano no qual K, L, E, N tinham sido "ótimamente" ajustados (tomado o ano de 1970)

Para introduzir a variável tempo é assumido rigidez absoluta na operação dos estoques iniciais (1970) de energia e nos hábitos e estilos de vida, havendo absoluta flexibilidade para a acumulação de bens de capital. Assim, com uma constante SPDA ("speed of adjustment") relativa à taxa de sobrevivência dos estoques são calculadas as quantias de Sobrevivência

$$Y_S(t) = Y_{70} (SPDA)^{t+5}$$

$$\begin{aligned}
 KS(t) &= K70 (SPDA)^{t+5} \\
 LS(t) &= L70 (SPDA)^{t+5} \\
 TS(t) &= E70 (SPDA)^{t+5} \\
 NS(t) &= N70 (SPDA)^{t+5}
 \end{aligned}$$

L70 = 1, trabalho tomado como crescimento de produtividade

$t = 0,5, \dots, 75$ para os anos 75, 80, ..., 2050

Para Novos investimentos teremos:

$$\begin{aligned}
 YN(t) &= Y(t) - YS(t) \\
 KN(t) &= K(t) - KS(t) \\
 LN(t) &= L(t) - LS(t) \\
 EN(t) &= E(t) - ES(t) \\
 NN(t) &= N(t) - NS(t)
 \end{aligned}$$

Dai temos:

$$\begin{aligned}
 (V.3) \quad Y(t) &= YS(t) + YN(t) = \text{produto bruto no período } t \\
 &= YS(t) + [a KN(t)^{\rho^\alpha} LN(t)^{\rho(1-\rho)} + \\
 &\quad b EN(t)^{\rho\beta} NN(t)^{\rho(1-\beta)}]^{1/\rho}
 \end{aligned}$$

São, ainda, desenvolvidos modelos econométricos relacionando investimento e consumo

$$(V.4) \quad L(t) = (SPDA)^5 K(t-5) - 2 I(t-5) + 3I(t)$$

$$(V.5) \quad I(75) = (g + 1 - SPDA) K(75), \quad g = \text{taxa de expansão de } I$$

Para otimizar os padrões de investimento e consumo no tempo é usada uma "função de utilidade" relativa ao logaritmo do consumo:

$$(V.6) \quad \sum_{t=0,5}^{70} \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^t \log C(t) + \sum_{t=75,80}^{\infty} \left(\frac{1}{1+\delta}\right)^t \log [C(75)(1+g)^{t-75}]$$

onde δ = taxa de desconto de utilidade

Modelo de Energia

O sub-modelo ETA inclui uma série de parâmetros como, por exemplo, custo de fatores de capital, custo de combustíveis, datas e taxas de introdução de novas tecnologias e curvas de suprimento de recursos não renováveis (ao preço mínimo de venda).

Do ponto de vista de tecnologias, desagrega os setores elétrico e não elétrico em várias tecnologias, tradicionais e alternativas.

Considerações sobre o modelo

O modelo é basicamente de investigação de longo prazo. Sua elaboração parece importante do ponto de vista da pesquisa em modelagem em energia, mas do ponto de vista de utilização é bastante vulnerável em dois aspectos principais:

- (a) As relações macroeconómicas desenvolvidas, a par de suas premissas teóricas, não estão testadas em casos históricos e nem têm uma teoria que as explique completamente. Desta forma alguma reserva deve ser mantida com tais modelos.
- (b) Os parâmetros das equações não são encontrados nem estatísticas regulares dos Estados Unidos e seus cálculos são extremamente arbitrários (a rigor são "assumidos" valores).

Obviamente com modelos e parâmetros arbitrários (ainda que possam ser lógicos) a confiabilidade do modelo fica reduzida.

V.3.3 MEDEE - MODELE D'EVOLUTION DE LA DEMANDE D'ENERGIE

Concepção do Modelo

Desenvolvido no Institute Economique et Juridique

de L'Energie (IEJE), França, por B. Chateau⁹ e B. Lapillonne⁶² o modelo parte para uma nova abordagem da projeção de demanda de energia. Ao contrário dos modelos tradicionais, que projetam a demanda a partir de relações macroeconómicas muito agregadas (por exemplo, correlação ao PNB), o MEDEE centra sua abordagem no consumo final de energia (energia útil).

Os objetivos do modelo são: (1) identificar os maiores fatores determinantes da demanda de energia e a influência da mudança de tais fatores na demanda de energia; (2) entender os efeitos do aumento de preço de petróleo na demanda energética; (3) determinar, por meio de cenários, o crescimento da demanda de energia, de acordo com outros aspectos de desenvolvimento da sociedade; (4) Utilizar sociólogos, economistas e analistas políticos, no preparo de cenários sobre a evolução futura da sociedade.

A metodologia envolve os seguintes passos:

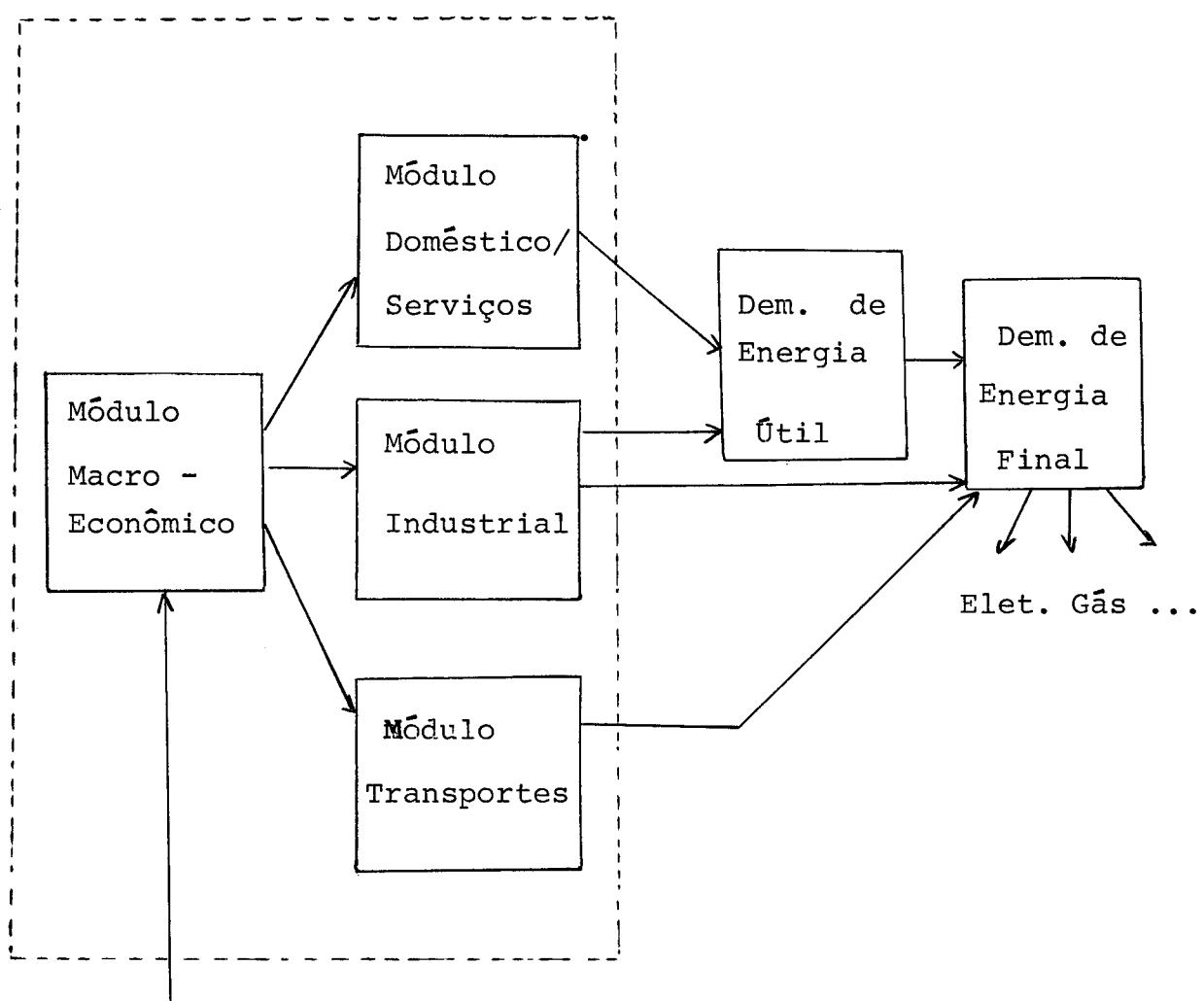
- (a) Análise dos sistemas social, econômico e tecnológico, para identificar os fatores determinantes da evolução a longo prazo de demanda energética.
- (b) Desagregação da demanda energética em categorias de uso final
- (c) Organização dos determinantes em uma estrutura hierárquica, dos níveis macro ao micro, mostrando como os macrodeterminantes afetam cada categoria de uso final
- (d) Construção de um modelo de simulação, grupando os determinantes em determinantes exógenos e elementos do cenário.

Descrição do Modelo

Será descrita aqui uma versão do modelo, denominada MEDEE-2 .

A estrutura geral do modelo pode ser vista no diagrama (V.5). O modelo é orientado por um cenário, dividido em: (a) um subcenário socio-econômico relativo ao desenvolvimento e conômico e social do país; e (b) um subcenário energético, relacionando fatores energéticos (eficiências no uso final, penetração de mercado, etc). Um módulo macroeconômico calcula os níveis de atividade dos setores produtivos considerados. A demanda de energia é então calculada para cada categoria de uso final em três modulos: Doméstico/Serviço, Industrial e de Transportes.

DIAGRAMA V.5 ESTRUTURA GERAL DO MEDEE - 2



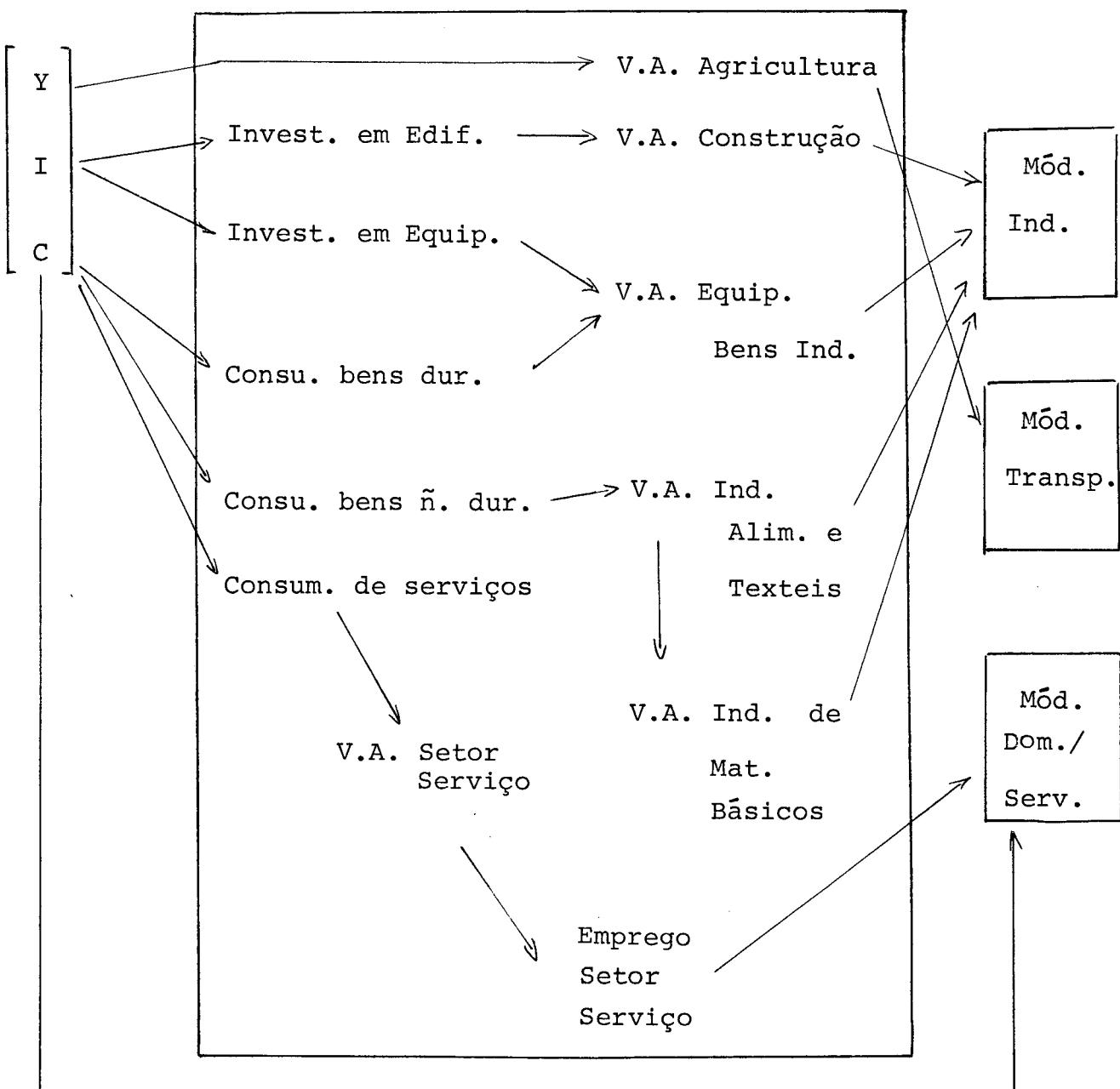
Cenários:

Social=econômico

Energia

O módulo macroeconômico é sintetizado no diagrama (V.6). Está dividido em seis setores: agricultura, mineração, energia, indústria, serviços e construção. As equações do módulo são expressões estatísticas entre a atividade do setor e o uso do seu "output", o que leva, segundo os autores a um alto grau de correlação.

DIAGRAMA V.6 MÓDULO MACROECONÔMICO DO MEDEE - 2



$Y = PNB$; $C = \text{Consumo Privado}$; $I = \text{Inv. Pub. e Priv.}$

V.A. = Valor Adicionado

Módulos de Demanda Energética

Os três módulos de demanda energética são desagregados em categorias de uso final. Para cada categoria há uma justificativa do ponto de vista dos cálculos da demanda. O quadro (V.1) mostra a desagregação.

QUADRO V.1 CATEGORIAS DE USO FINAL NO MEDEE - 2

MÓDULO DE TRANSPORTE

Transp. pessoal

Urbano

Automóvel
Transp. massa

Interurbano

Automóvel
Avião
Onibus
Trem

Transp. de Carga

Longa distância

Trem
Barco
Caminhão

Local

Caminhão

MÓDULO DOMÉSTICO/SERVIÇO

Residencial

Aquecimento Ambiental
Aquecimento d'água
Refrigeração

Cozinha
Aplicações elétricas

Serviço

Usos térmicos
Refrigeração
Aplicações elétricas

MÓDULO INDUSTRIAL

SETORES

Agricultura
Construção
Mineração
Indústrias Manufatureiras:
 Materiais básicos
 Equipamentos
 Alimentar e Textil
 Outras
Energia

PROCESSOS

Usos de motores a Comb.
Usos de elet. específicos
Usos térmicos:
 Geração a turbina
 Operação de fornos
 Aquecimento
 Uso de carvão redutor
 Uso de petróleo e gás

Cenários

O uso de cenários busca traduzir, em termos quantitativos, visões de longo prazo da sociedade, em seus aspectos social, econômico e tecnológico, isto é, a partir da descrição ou "projeção" da sociedade, esta percepção é traduzida quantitativamente e utilizada como input ao modelo.

Assim o modelo não é um modelo de projeção mas, antes, uma metodologia de cálculo da evolução da demanda, associada a um dado cenário: pode-se dizer, um modelo de simulação.

Comentários sobre o modelo

O MEDEE constitui-se numa bem sucedida inovação em

tre os modelos de demanda. Duas de suas características são de grande importância: (1) Busca avaliar a demanda a partir de uso final, que é o ponto mais próximo à interação energia-sociedade. Como salienta HAEFELE⁴⁰, não se demanda energia secundária, mas serviço de energia (um cidadão demanda água aquecida, transporte, etc, e não necessariamente formas de energia), o que concorda com a opção do modelo; (2) A busca de cenários em lugar de métodos econométricos é importante pois tais métodos costumam falhar a longo prazo por não levarem em conta mudanças estruturais e tecnológicas, mas apenas tendência histórica. O cenário é uma "hipótese" cuja resposta é calculada pelo modelo. Infelizmente tal método é absolutamente dependente da "grande percepção" dos participantes na elaboração dos cenários.

V.3.4 MODELO DE INPUT-OUTPUT PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS ENERGÉTICOS

Descrição Geral

As matrizes de "Input-output" fornecem importante subsídio à visão estrutural de uma economia. Anne P. Carter, de Brandeis University, vem trabalhando há algum tempo na aplicação de modelos "Input-output" a problemas de energia. Nesta seção será dada uma visão geral de tais modelos e sua aplicação a problemas energéticos, a partir de um trabalho de Anne Carter⁷

Uma tabela "input-output" dá uma visão detalhada do fluxo de bens e serviços que os "setores" compram e vendem entre si. Um exemplo é o QUADRO (V.2). Cada linha dá o total que um setor particular vende a todos os setores, inclusive a si próprio, e à demanda final (categorias de uso final doméstico, formação de capital, etc). Cada coluna contém os totais comprados por um dado setor aos demais. A última linha contém o "valor agregado" de cada setor (soma de pagamentos a trabalho, encargos, etc). A tabela é geralmente quantificada em numerário.

Os coeficientes de "input-output" são a razão entre os "inputs" (valores de uma coluna) pelo "output" do setor. Isto significa que os coeficientes mostram quanto um setor

comprou dos demais e do valor agregado, por unidade de seu próprio output. É, pois, uma descrição estrutural da economia para um dado ano particular. Os coeficientes são utilizados em um sistema de equações lineares relacionando ao "outputs" de todos as indústrias: cada equação dá o "output" x_i , do setor i , como a soma das vendas a todos os setores e demanda final y_i .

(Eq V.7) $x_i - \sum_j a_{ij} x_j = y_i$, onde a_{ij} é coeficiente de "input" que dá as necessidades do produto do setor i por unidade de "output" do setor j .

QUADRO V.2 UM EXEMPLO DE TABELA INPUT-OUTPUT

SETOR	SETORES							DEM.	OUTPUT DOMÉSTICO
	1	2	3	4	...	8	FINAL BRUTO		
1. Materiais	8,5	8,0	8,8		...	3,5	4,0	37,6	
2. Metalurgia	1,5	7,0	6,9			2,9	19,2	44,9	
3. Construção	0,1	0,0	0,0			0,3	39,3	46,2	
4. Eq.transp./util.	1,0	1,0	0,1			2,2	22,6	41,0	
5. Serv. e Transp.	4,4	4,5	8,3			14,8	137,6	209,4	
6. Mineração	2,2	0,0	0,6			6,7	0,6	11,2	
7. Agricultura	0,5	0,0	0,2			26,6	8,3	56,0	
8. Outros	5,3	1,9	3,0			46,3	83,0	161,1	
Valor agregado	14,1	22,5	18,3			57,8	-	314,6	
TOTAL DE INPUTS	37,6	44,9	46,2		...	161,1	314,6	922,0	

Com tal sistema de equações é possível computar o efeito de qualquer mudança particular da demanda final nos "outputs" de todos os setores, assim como o efeito da alteração do "output" de um dado setor na demanda final. Para estudos de energia há coeficientes de carvão, gás, energia elétrica, derivados de petróleo, etc.

Aplicações em Análise Energética

As aplicações são as mais variadas possíveis, pois consegue-se observar formas de energia inseridas na estrutura da economia como um todo.

Pode-se analisar os efeitos de um embargo de petróleo nos demais setores, efeitos da alteração de preços de um dado combustível, problemas de alocação de petróleo escasso por setores, ou até o impacto econômico da introdução de uma dada tecnologia.

Comentários sobre o modelo

O maior problema da aplicação de "input-output" a energia está em que estas tabelas são geralmente apresentadas em unidades monetárias (valor médio da produção) o que gera uma série de dificuldades para o acerto dos dados em unidades energéticas.

Para estudos de planejamento as aplicações são reduzidas pois os dados mudam ao longo do tempo (mudanças estruturais, novas tecnologias) e fica difícil qualquer extração. Isto é agravado pelo fato de normalmente só se dispor de matrizes de vários anos anteriores (No Brasil só em 1978 foi divulgado a matriz de 1970).

Ainda assim, a matriz "input-output" constitui -se, por suas demais qualidades, em um importante instrumento para a análise energética.

V.3.5 MODELOS INDIANOS

Como se observou no Capítulo III, os países em desenvolvimento têm sua estrutura energética diferenciada dos mais desenvolvidos, em vários aspectos: a participação de fontes não comerciais no consumo de energia, as taxas de população rural são altas e a agricultura desempenha papel mais importante na economia. Com esta ótica dois indianos, Jyoti Parikh⁹² e Kirit

PARIKH desenvolveram os modelos a seguir comentados.

V.3.5.1 SIMCRED - SIMULATION MODEL ON CROSS - COUNTRY REGRESSIONS FOR ENERGY DEMAND

Desenvolvido por J. Parikh (1978) para projetar demanda de regiões do mundo a prazo médio, envolvendo a observação de 82 países (desenvolvidos e em desenvolvimento) no ano de 1973.

Regressões transversas entre países ("Cross-Country regressions") envolveram:

- i) Parcada de agricultura no PNB
- ii) Consumo per capita de energia comercial
- iii) Razão entre energia comercial e não comercial
- iv) Consumo de energia elétrica per capita.

O modelo determina as variáveis acima como função respectivamente de: a) PNB per capita e proporção da população rural na população total; b) Consumo per capita e a proporção do "PNB agrícola" com relação ao PNB total; c) A razão entre população urbana e rural e o consumo per capita; d) A proporção da população urbana no total da população e o PNB per capita.

As equações ajustadas são:

$$YA/Y = e^{0,903} (Ne/N)^{0,458} (Y/N)^{-0,365} \quad R^2 = 0,885$$

$$EC/N = e^{-6,06} (YNA/Y)^{2,027} (C/N)^{1,01} \quad R^2 = 0,958$$

$$EC/ENC = e^{-6,86} (NU/NR)^{0,633} (Y/N)^{1,37} \quad R^2 = 0,887$$

$$EEL/N = e^{-0,896} (NU/N)^{0,499} (Y/N)^{1,16} \quad R^2 = 0,96$$

onde Y - PNB , YA - PNB agrícola,

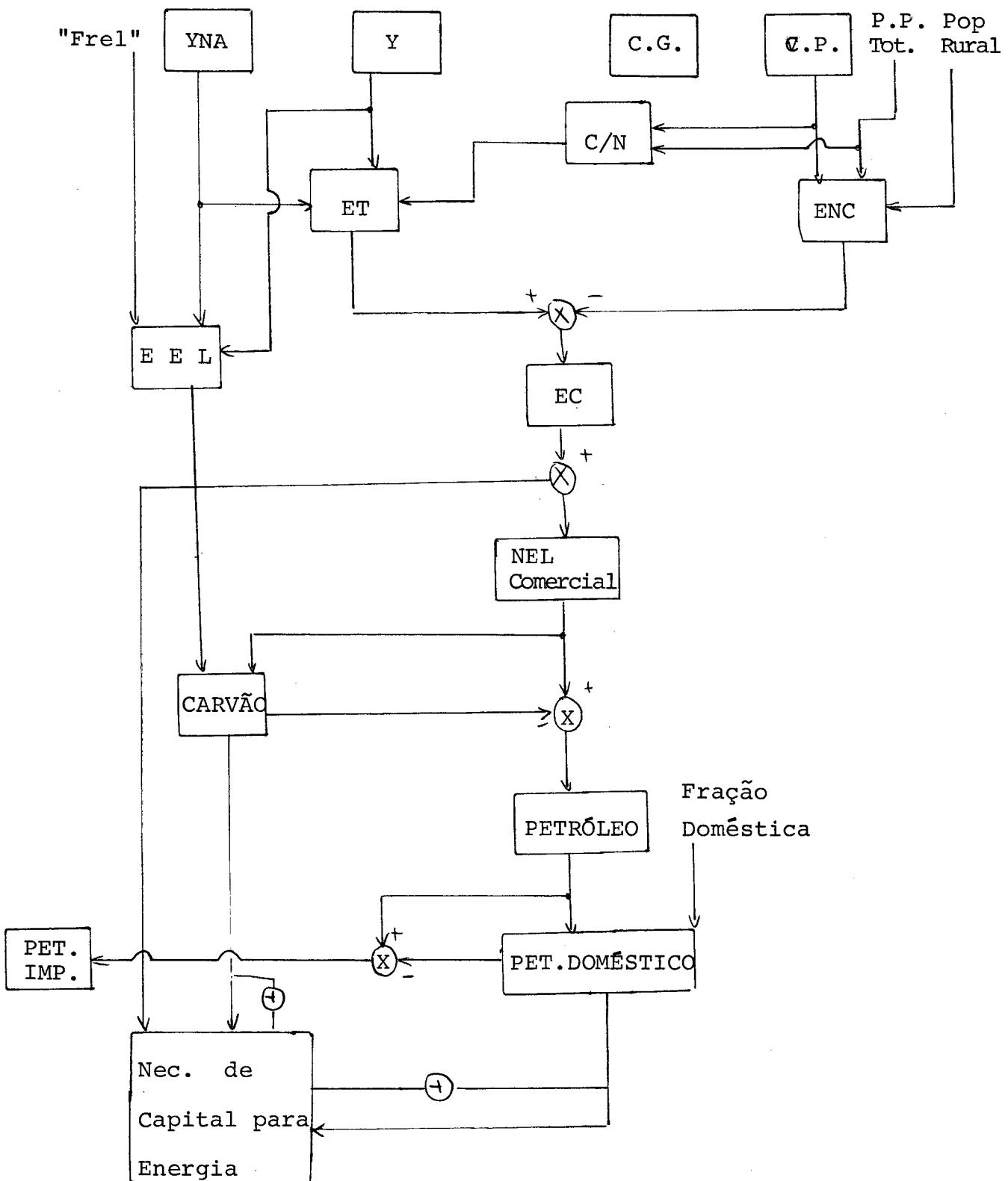
YNA - PNB não agrícola; N - população, (10^6);

NR - pop.rural; NU - População Urbana;

C - Consumo; EC - Energia comercial (10^6 tce)

ENC - Energia não comercial; EEL - Energia Elétrica (bkwh)

DIAGRAMA V.7 ESTRUTURA DO SUBMODELO DE ENERGIA DO "SIMA
(PARIKH)



Variáveis definidas na pág. anterior CP - Consumo privado;
CG - Consumo governamental; \otimes soma; \oplus Atrazo 1 período

É claro que a vulnerabilidade do modelo está na simplicidade de suas premissas econométricas, assim como na não consideração dos efeitos da variação de preços.

V.3.5.2 SIMA - SIMULATION FOR MACROECONOMIC SCENARIOS FOR ENERGY DEMAND

O modelo foi desenvolvido por J.Parikh e K.Parikh em 1978 e mostra a evolução da demanda energética na India com relação a diferentes estratégias de desenvolvimento macro-econômico (p.ex. desenvolvimento do setor agrícola)

Dois submodelos acoplados, um de energia e outro de macro-economia formam o modelo completo. A estrutura do submodelo de energia é a apresentada, no DIAGRAMA (V.7), da pagina anterior.

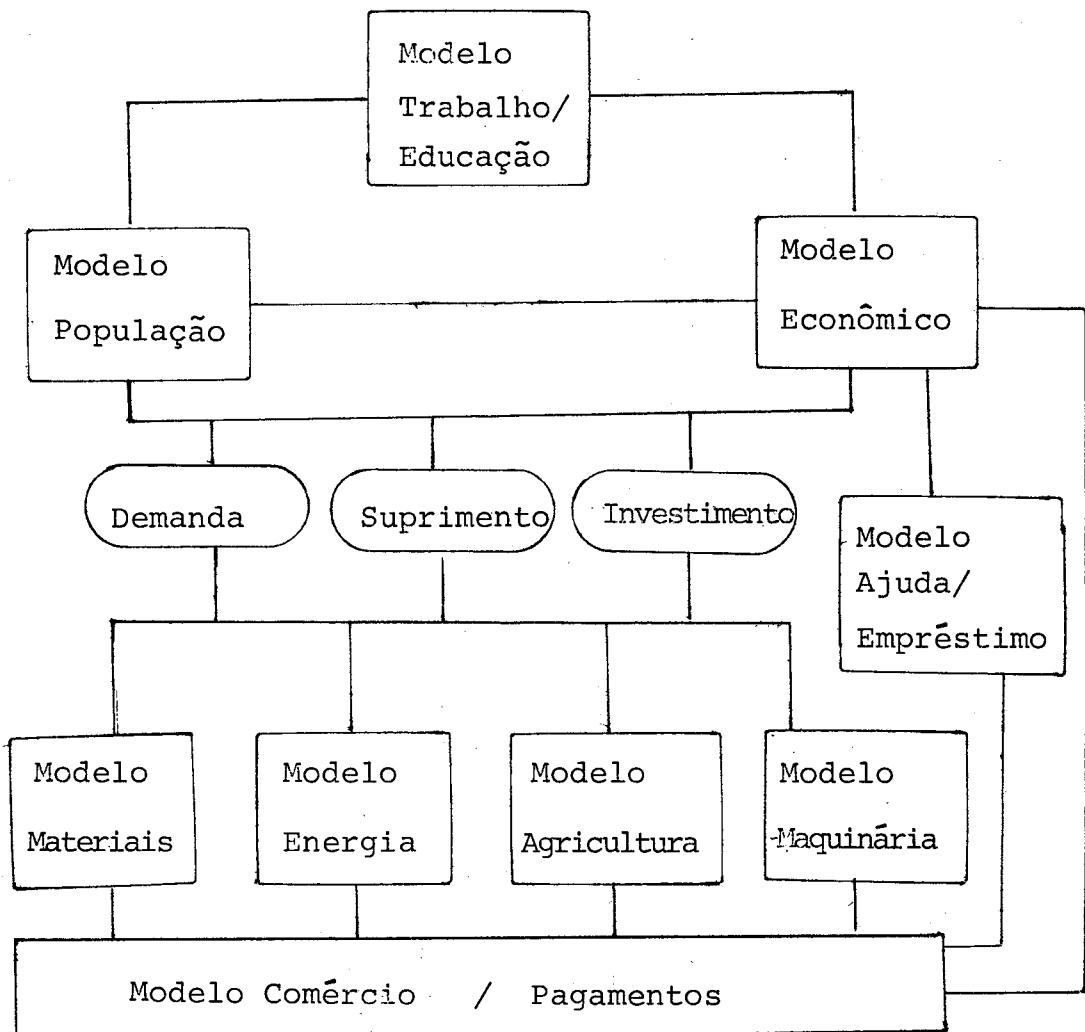
Há que se registrar a clara diferença de enfoque da energia neste modelo com os demais já descritos, com a introdução de parâmetros típicos de países não desenvolvidos, como a produção agrícola, energia não comercial e população rural.

V.3.6 MODELOS DE MESAROVIC DE DEMANDA DE ENERGIA

Mesarovic e Pestel desenvolveram um modelo global do mundo denominado "WIN-World Integrated Model", no qual há um sub-modelo específico para energia. O trabalho de Mesarovic e Pestel (1974) tornou-se famoso, da mesma forma que outros modelos do mundo, como "The Limits to Growth", de Dennis Meadows, "Modelo Mundial Latino americano", de Amilcar Herrera⁵¹, Hugo Scolnik e outros e "The United Nations World Model", de Leontief. Cada um dos modelos acima utiliza uma técnica diferente, pois Meadows utilizou "Dinâmica de Sistemas", Herrera aplicou Optimização Não-linear, Leontief utilizou Matriz Input-Output enquanto Mesarovic aplicou o que denomina "Hierarchical Systems Theory". Uma discussão sobre tais modelos é longa e fora do escopo deste trabalho (COLE¹³ desenvolveu uma interessante análise do assunto) mas é conveniente observar o diagrama geral de bloco do

modelo WIN e como se insere o modelo de energia.

DIAGRAMA V.8 - DIAGRAMA GERAL DE BLOCO DO WORLD INTEGRATED MODEL
(MESAROVIC E PESTEL)



FONTE: Hughes¹²³ e Mesarovic

O "Sub-modelo Energia" contém um sub-modelo denominado "demanda de energia". A demanda de energia é calculada a partir de equações econometrísticas que a relacionam ao Produto Nacional Bruto e a outros parâmetros. GIROD²⁶ denomina estes modelos econometríticos de modelos do "tipo condicional, ou seja, a variável explicada depende, além do tempo, de outras variáveis explicativas.

As equações de Mesarovic estão sintetizadas no

quadro abaixo:

QUADRO V.3 MODELOS DE DEMANDA DE MESAROVIC E PESTEL

TIPO	FORMULAÇÃO	PARÂMETROS
1	$C.E(t) = a PNB(t)$	-
2	$C.E(t) = a PNB(t) + Cte$	-
3	$C.E(t) = a(t) PNB(t)$	$a(t) = m + nt$
4	$C.E(t) = a(t-1)(1+r(t)) PNB(t)$	$r(t) = m + nt$
5	$\Delta C.E(t, t+1) = e \frac{\Delta PNB(t, t+1)}{PNB(t)} CE(t)$	-
6	$\Delta C.E(t, t+1) = e(t) \frac{\Delta PNB(t, t+1)}{PNB(t)} C.E(t)$	$e(t) = m + nt$
7	$\Delta C.E(t, t+1) = e(t) \frac{\Delta PNB(t, t+1)}{PNB(t)} C.E(t)$	$e(t) = "média movel s/5 anos"$

FONTE: GIROD¹²³

CE - Consumo de Energia; PNB - Produto Nacional Bruto;
e - elasticidade; C,m,n,a - constantes

As quatro primeiras equações são claramente "tendências", isto é, o consumo de energia mantém, para o futuro, a tendência de evolução em relação ao PNB verificada no passado. As três últimas equações são do tipo "adaptativo" ou "em cadeia" (segundo Girod), ou seja, a relação estatística não liga diretamente as grandezas absolutas das variáveis mas os crescimentos relativos de um ano a outro.

As formulações (5), (6) e (7) reduzem a influência das tendências históricas na determinação dos valores futuros, ainda que tal influência seja forte em razão do número limitado de variáveis explicativas. O problema de fundo, independente do método de extração utilizado, diz respeito à própria utilização de técnicas de extração: até que ponto é válido passar de um comportamento do passado à previsão do futuro

adotando um número limitado de variáveis explicativas e sem incorporar outros fatores? Além do mais, projetar uma variável a partir de relações com outras, teria maior sentido se estas fossem conhecidas, o que nem sempre é verdade. Assim, projetar o consumo de energia a partir do PNB se reduz a transferir o cálculo do consumo de energia ao cálculo do PNB, em muitos casos "estipulado". Por que então não estipular logo o consumo de energia, em lugar de sujeitá-lo a hipóteses que também não são bem quantificadas?

V.4 POLÍTICA, PLANEJAMENTO E MODELAGEM ENERGÉTICA

Para Simon Schwartzman¹⁰⁶ "Política é, em resumo, o processo pelo qual recursos escassos são distribuídos pelos diversos setores sociais pelas autoridades. Este processo é muitas vezes descrito como um sistema de inputs e outputs. Os inputs constituem o que, em inglês, se denomina "politics": o processo pelo qual a sociedade escolhe suas autoridades e estabelece suas preferências sobre diferentes cursos alternativos a serem seguidos. Os outputs, em inglês, recebem o nome de "policy", que são as opções governamentais propriamente ditas". É no sentido de "policy" que se conceitua política energética: o conjunto de opções relativas ao contexto de energia adotadas pelas autoridades governamentais, no âmbito de seus diversos instrumentos de ação. Assim, a política energética envolve grande multiplicidade de aspectos, por força da presença e relacionamento da energia com as atividades econômicas e sociais. É inegável, portanto, a existência de política energética, seja ela explicitamente definida e declarada ou não. Por outro lado, a variedade de opções de "política social e econômica" que afetam a área energética, ou de "política energética" que afetam outros aspectos econômicos e sociais, ou ainda as opções relativas a um dado componente do sistema energético que afetam outros componentes ou o sistema como o todo, justificam a crescente preocupação com o estabelecimento e explicitação de uma política energética vista de uma perspectiva mais ampla e global.

A definição de uma política global para energia é, por seu turno, tarefa extremamente complexa e envolve o equacionamento de variáveis que, muitas vezes, são interligadas de forma complexa e não linear. Ainda assim, é fundamental que as autoridades governamentais busquem a elaboração de políticas energéticas que visem tanto o desenvolvimento sustentável quanto a segurança energética e o bem-estar social.

namento das interações da energia com a sociedade, a orientação de seu consumo e escolha das alternativas adequadas de suprimento. E tudo isto em uma visão de tempo inerente à política energética: as "respostas" às decisões são demoradas em razão dos longos tempos de maturação dos investimentos em energia ou da própria demora de mudanças em hábitos da sociedade - em energia política e planejamento (orientação antecipada de medidas a serem tomadas no futuro) se confundem.

A modelagem energética pode se constituir, se adequadamente utilizada, em oportuna ferramenta para o estabelecimento de política e planejamento energéticos pois, entre diversas técnicas:

- pode ser utilizada para representar o sistema energético (como um todo ou por partes) e facilitar seu entendimento global, testar políticas alternativas ou buscar ótimas dentro dos parâmetros da representação
- pode representar diferentes aspectos do relacionamento de energia com a economia e ser utilizada no entendimento de tais relações ou ainda na análise de diferentes opções de política
- pode ser utilizada em projeções (sujeita a hipóteses) essenciais ao planejamento energético, como projeção da demanda (geral ou específica), representar a evolução de sistema, projetar a evolução ou penetração de novas tecnologias, etc.

Há que se repetir que os modelos, por serem representações simplificadas, não levam em conta todos os aspectos relativos ao sistema que representam. Também não substituem o homem na tomada de decisão, apenas o apoiam como ferramenta. Só que contêm representações e realizam operações para as quais a mente humana não está preparada. Ainda com relação à tomada de decisão deve-se observar que existem diferentes níveis de decisão; alguns mais complexos e outros quase automáticos (ou técnicos): nos últimos e quando envolvem todas as variáveis de deci-

são, o modelo pode ser utilizado para dar a opção mais eficiente.

Por fim cabe mencionar que a modelagem energética ainda é uma técnica recente, com muitas metodologias ainda em fase de desenvolvimento, não se tendo ainda uma percepção clara de seu futuro direcionamento em apoio à política energética. Mas, diz Edelman¹²¹"... é difícil imaginar se lidar com problemas tão cruciais e complexos como os energéticos sem tais ajudas (de modelos). Certamente os problemas dos anos finais do século vinte não serão mais simples que os atuais. Velhos métodos se rão crescentemente insuficientes".

CAPÍTULO VI

MODELAGEM ENERGÉTICA NO BRASIL

VI.1 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

VI.1.1 HISTÓRICO E PREMISSAS DA MEB

A Matriz Energética Brasileira - MEB se constitue em um conjunto de metodologias, modelos, estudos e dados realizados pelo Governo Brasileiro com a intenção de criar um instrumento para a definição de uma política energética global no país. As primeiras iniciativas concretas para sua elaboração datam de 1968, na forma de entendimentos entre o Ministério das Minas e Energia - MME e o então Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, este através do IPEA - Instituto de Planejamento Econômico e Social. Em seguimento, o MME e IPEA delinearam o escopo do projeto, previsto para 30 meses, criaram grupos de trabalho na área governamental, para gerência e execução e contrataram empresas de consultoria (MONTOR, CONSULTEC, ECOTEC, ASPLAN, TECNOMETAL e BERENHAUSER) para a execução de uma série de estudos de base.

O projeto envolvia as seguintes fases e atividades:

FASE	ATIVIDADE
I	Planejamento de Modelos Abstratos
II	Coleta de Dados - Banco de Dados Estudos Piloto Setoriais
III	Pesquisa de Campo e de Arquivos Estudos Setoriais Desenvolvimento de Modelos
IV	Montagem de Modelos e Matrizes Preliminares Relatório Global Preliminar
V	Reformulação de Modelos Preliminares Estudos Setoriais Complementares

VI

Montagem de Modelos e Matrizes Finais
Relatório Global Final

Ao final do cronograma de 30 meses, com início em julho de 1970, só estavam prontos os trabalhos até a fase IV, em consequência de naturais atrasos em projetos dessa natureza (se gundo o então Ministro Dias Leite a Matriz subestimou as dificuldades que encontraria). O Governo decidiu, então, não prorrogar os contratos com as empresas e consultoria. Por esta ocasião algum debate já havia em torno de algumas conclusões da matriz, como a Projeção de dependência externa devido ao petróleo.

O documento elaborado na conclusão dos trabalhos, "Relatório Global Preliminar", em 10 volumes, foi mantido como documento sigiloso, tendo sido divulgado extratos no "Sumário do Relatório Global Preliminar"⁸², com apresentação do Ministro Dias Leite (onde procura desmistificar certas premissas e conclusões da Matriz). Esta seção está baseada no "Sumário", complementada com pesquisas diretas no "Relatório Global Preliminar".⁸²

O objetivo básico da matriz era "o estudo integrado das diversas formas de energia, em âmbito nacional, desde a geração até o consumo final, objetivando dotar o país de um eficiente instrumento de planejamento para o setor energético como um todo".

Como instrumento de política e planejamento energético a MEB deveria:

- Dar meios a uma melhor distribuição da energia por setores econômicos, com vistas ao atendimento da política econômica e social do Governo.
- Servir a uma melhor alocação de investimentos na oferta de energia.
- Analisar a influência dos preços de energia nos preços finais da produção, ou, mais genericamente, a influência do insumo (ou input) energético.

co nos produtos das atividades econômicas (ou outputs setoriais).

- Fornecer meios para a compatibilização entre os planejamentos isolados das diversas fontes de energia em um planejamento global.
- Servir de núcleo a um "futuro orgão de assessoria governamental".

Implicitamente havia, ainda, a intenção de constituir um banco de dados integrado de energia, desde as reservas de recursos, produção, transformações e consumo setorial.

Conceitualmente a metodologia da MEB se apoia na ideia de um Modelo Geral de Decisão - MGD, baseado nos "decision models" desenvolvidos por R. Frisch e S. Tinbergen (Estes modelos buscam atingir as metas - variáveis objetivos - por meio de variáveis instrumentos sujeitas a parâmetros indicativos da evolução econômica). O Modelo de Decisão é um conjunto de matrizes energéticas e modelos matemáticos, com representação esquematizada dos aspectos institucional, econômico e tecnológico de setor energético, dentro do qual se tomam as decisões.

Do lado do consumo a previsão deveria se dar, na concepção original, por meio de modelos econométricos de consumo. Do lado da oferta, modelos matemáticos de otimização para minimização de custos. A operação geral se daria por modelos de simulação, apoiados ainda em modelos estocásticos. Claro está que as pretenções eram por demais ambiciosas, mesmo para a tecnologia de hoje. Cedo o próprio desenvolvimento do projeto foi reformulando algumas das intenções iniciais.

VI.1.2 ORGANIZAÇÃO E PESQUISA DE DADOS

VI.1.2.1 PESQUISA DE DADOS

Ao longo de sua execução o projeto MEB produziu mais de 730 documentos, entre "relatórios técnicos", "documentos de trabalho", "documentos internos" e "normas", representando a documentação de estudos de campo, definições, planos e estudos

teóricos. Do conjunto predominaram:

Estudos de consumo e projeção de demanda

Estudos de oferta

Planejamento e Elaboração de Modelos

Estudos Estatísticos, etc.

As pesquisas sobre oferta e consumo de energia foram precedidas de minuciosos planejamentos por setores de oferta e de consumo. Do lado da oferta os estudos se calcaram mais em programas das produtoras, enquanto na demanda foram realizadas pesquisas de documentação, de campo e amostragens (por exemplo, para o setor doméstico rural, com grande carência de dados, foram realizadas, em apoio a estimativas, amostragens em São Paulo e na Paraíba). Grande parte do esforço da MEB foi centrada nos levantamentos de dados, pela carência existente de informações, resultando na montagem de diversas matrizes para 1970 que relacionam energias e setores de consumo. Para os anos futuros, até 1985, diversas projeções foram realizadas, mas de forma independente para oferta a diversos setores de consumo.

Já em sua fase final o projeto MEB, buscando apresentar resultados, realizou as projeções de oferta e consumo mas não chegou a compatibilizá-las. As projeções de consumo foram realizadas de forma independente pelos diversos setores, com métodos econométricos que os relacionavam a parâmetros de desenvolvimento do país (como o PIB).

Certamente não será correto, a um propósito de avaliação, comparar as projeções da MEB para um horizonte de 15 anos com as atuais do Balanço Energético Nacional. Isto porque a MEB, em suas projeções, não incorporou as políticas de intervenção do governo, nem os efeitos de preços relativos, mas a tendência daquela ocasião (anterior à crise de energia). No entanto, a título de informação estão apresentadas no QUADRO (VI.1) as projeções da MEB e do BEN para 1985. Cabe observar que a projeção da MEB previa a manutenção do "STATUS QUO" na época de grande euforia desenvolvimentista do país e isto significava cresci-

mento de 10% a.a. do PIB. O Petróleo e Gás deveriam participar com 51,5% do balanço energético (contra os 35,7% previstos no BEN-78).

QUADRO VI.1

PROJEÇÕES PARA 1985 DA MEB E BEN-78

ENERGIA	PROJEÇÃO MEB		PROJEÇÃO BEN	
	10 ³ TPE	%	10 ³ TPE	%
Petróleo e Gás	111.211	51,5	59.650	35,7
Hídrica	48.148	22,2	57.816	34,6
Carvão	10.539	4,9	10.004	6,0
Urânio	16.710	7,7	3.517	2,1
Lenha	21.060	9,7	19.272	11,6
Bagaço de Cana	7.615	3,5	8.405	5,0
Outros	1.128	0,5	8.295	5,0
T O T A L	216.412	100,0	166.959	100,0

FONTES: MEB 82 E BEN 80

VI.1.2.2 MATRIZES

Os dados de fluxo de energia são organizados em forma de matrizes, correspondendo as linhas a fontes de energia e as colunas aos destinos. Foram montadas matrizes agregadas para o país e desagregadas a nível das cinco regiões: Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

As energias acham-se desagregadas em:

0 - RECURSOS ENERGÉTICOS

00 Potencial Hídrico

01 Energia Hídrica

02 Combustíveis Nucleares

03 Carvão Mineral

 03-1 Carvão Mineral Lavador

 03-2 Carvão Mineral Vapor

04 Xisto

05 Petróleo

06 Gás Natural

1 - ENERGIAS NÃO COMERCIAIS

11 Lenha

12 Bagaço de Cana

13 Resíduos e Subprodutos

2 - ENERGIAS SECUNDÁRIAS

21 Energia Elétrica

22 Carvão Vegetal

23 Carvão Vapor

24 Carvão Metalúrgico

25 Coque de Carvão

26 Gás de Coqueria

27 Gás de Cidade

28 Gás de Xisto

29 Gás de Refinaria

30 GLP

31 Nafta

32 Gasolina de Aviação

33 Gasolina Automotiva

34 Querosene de Aviação

35 Querosene Iluminante

36 Óleo Diesel

37 Óleo Combustível

38 Coque de Petróleo

39 Condensado de Gás Natural

40 Gás de Alto e de Baixo Forno

As matrizes são:

- (i) Matriz de Trabalho: Matriz básica, antes do fechamento oferta-demanda.

Linhas: Energias, de 00 a 40

Colunas: A - Produção Bruta

AC - Auto-consumo

ACI - Auto-consumo interno

ACP - Auto-consumo próprio

M - Importação

MA - Abastecimento no exterior

FR - Recebido de outras regiões

O - Oferta Bruta ($O = A - AC + M + MA + FR$)

O-Z - Coluna de balanço

Z - Necessidade de Suprimento ($Z = ZL + R$)

R - Perdas (exclusive transformação)

ZL - Nec. líquida de suprimento

$(ZL = V + T + G + CE + FF + E + EA + UP + UU + C)$

V - Acréscimo de estoque

T - Energia para transformação

G - Energia para auto-geração

CE - Consumo do Setor Energético (exclusive AC)

FF - Fornecido a ambas regiões

E - Exportação

EA - Abastecimento para o exterior

UP - Consumo da Petroquímica

UU - Outros usos não energéticos

C - Consumo energético setorial total

$(C = CI + CII + CIII + GG + CD + CN)$

CI - Consumo do setor primário

CII - Consumo do setor secundário

CIII - Consumo do setor terciário

CG - Consumo governamental

CD - Consumo do setor Doméstico

CN - Consumo não classificado

- (ii) Matriz de Fluxo: Obtida da matriz trabalho, após o fechamento dos fluxos de cada energia.

Linhas: Energias, de 00 a 40

Colunas: A, ACI, ACP, M, MA, F (Saldo do Intercâmbio Regional: $F=FR - FF$), O, V, T, G, B (Disponibilidade Bruta: $B=CE + R + S + D$), CE, R, S, D (Disponibilidade Líquida: $D=E + EA + UP + UU + C$), E, EA, UP, UU, C, CI, CII, CIII, CG, CD, CN.

- (iii) Matriz de Consumo Energético Setorial: Contém a desagregação dos setores de consumo.

Linhas: Energias, de 00 a 40

Colunas: contém os seguintes setores

01 - SETOR PRIMÁRIO

01-1 Rural

01-2 Pesca

02 - MINERAÇÃO

02-1 Não metálicos

02-2 Ferro

02-0 Outros não metálicos

03 - TRANSFORMAÇÃO DE MINERAIS NÃO METÁLICOS

03-1 Cimento

03-2 Cerâmica

03-3 Vidro

03-4 Olarias e caieiras

03-0 Outros não metálicos

04 - SIDERURGIA

04-1 Ferro gusa e aço

04-2 Ferro-ligas

05 - OUTROS PRODUTOS DA METALURGIA

- 05-1 Alumínio
- 05-2 Outros não ferrosos
- 05-0 Outros da Metalurgia

06 - MECÂNICA, MATERIAL ELÉTRICO E MATERIAL TRANSPORTE

- 06-1 Mecânica e material elétrico
- 06-2 Material de Transporte

07 - QUÍMICA

- 07-1 Petroquímica
- 07-2 Eletroquímica
- 07-0 Outros da Química

08 - TÊXIL09 - PAPEL, CELULOSE E MADEIRA

- 09-1 Papel, celulose e pasta mecânica
- 09-2 Madeira

10 - PRODUTOS ALIMENTARES

- 10-1 Açúcar e álcool
- 10-2 Padarias
- 10-0 Outros produtos alimentares

11 - OUTRAS INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO E TRANSFORMAÇÃO

- 11-1 Bebidas
- 11-2 Borracha
- 11-0 Outras indústrias

12 - CONSTRUÇÃO CIVIL13 - TRANSPORTE

- 13-1 Rodoviário
- 13-2 Ferroviário

13-3 Hidroviário

13-4 Aéreo

13-5 Dutos e outros

14 - COMÉRCIO E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

14-1 Comércio

14-2 Prestação de Serviços

15 - GOVERNO, FORÇAS ARMADAS E SERVIÇOS PÚBLICOS

15-1 Iluminação Pública

15-2 Governo, Outros Serviços Públicos,
Forças Armadas e Auxiliares

16 - DOMÉSTICO

16-1 Doméstico Urbano

16-2 Doméstico Rural

17 - NÃO CLASSIFICADO

(IV) Matriz de Apresentação Sintética: São matrizes com apresentação agregada de informações.

Linhas: Energias: Recursos Energéticos (de 00 a 06),
Energias Não Comerciais (11, 12, 13) e Energia Secundária (Agregadas em 13 tipos)

Colunas: A, AC, M, MA, F, O, TG (Energia para transformação e Auto geração: $TG = T + G$), CER (Consumo e perdas do setor energético: $CER = CE + R$), US (Acréscimo de estoque e acerto estatístico), D, E, U ($U = UP + UU$), Consumo Setorial (desagregado ao nível do setor: Primário, Mineração, etc, isto é, 01, 02, 03, ..., 17)

(V) Matriz de Transformações Energéticas: Contém as transformações entre formas de energia. Seu total corresponde à coluna T da Matriz de Fluxo).

Linhas: Energias (de 00 a 40, 41 - Produtos não energé-

ticos e 42 - Perdas na transformação).

Colunas: Geração de Termeletricidade (Usinas a lenha Usinas a Carvão Vapor, Usinas a diesel, Usinas a Óleo Combust., Outras Usinas), Geração de Hidreletricidade, Benef. de Carvão Mineral, Coqueiras, Carvoarias, Usinas de Xisto, Refino e Dist. de Pet. e Derivados, Plantas de Gasolina Natural, Produção de Gás da Cidade, Energia para transformação (T), Energia Produzida.

- (VI) Matriz de Consumo do Setor Energético: Consta o consumo de energia no próprio setor energético, exceto auto-consumo.

Linhos: Energias, de 00 a 40

Colunas: Prod. de Comb. Nucleares, Prod. Carvão Mineral, Prod. de Xisto, Prod. de Petróleo, Prod. de Gás Natural, Geração de Termeletricidade, Geração de Hidreletricidade, Geração de Nucletricidade, Benef. de Carvão Mineral, Coqueiras, Carvoarias, Usinas de Xisto, Refino e Dist. de Pet. e Derivados, Plantas de Gasolina Natural, Produção de Gás de Cidade.

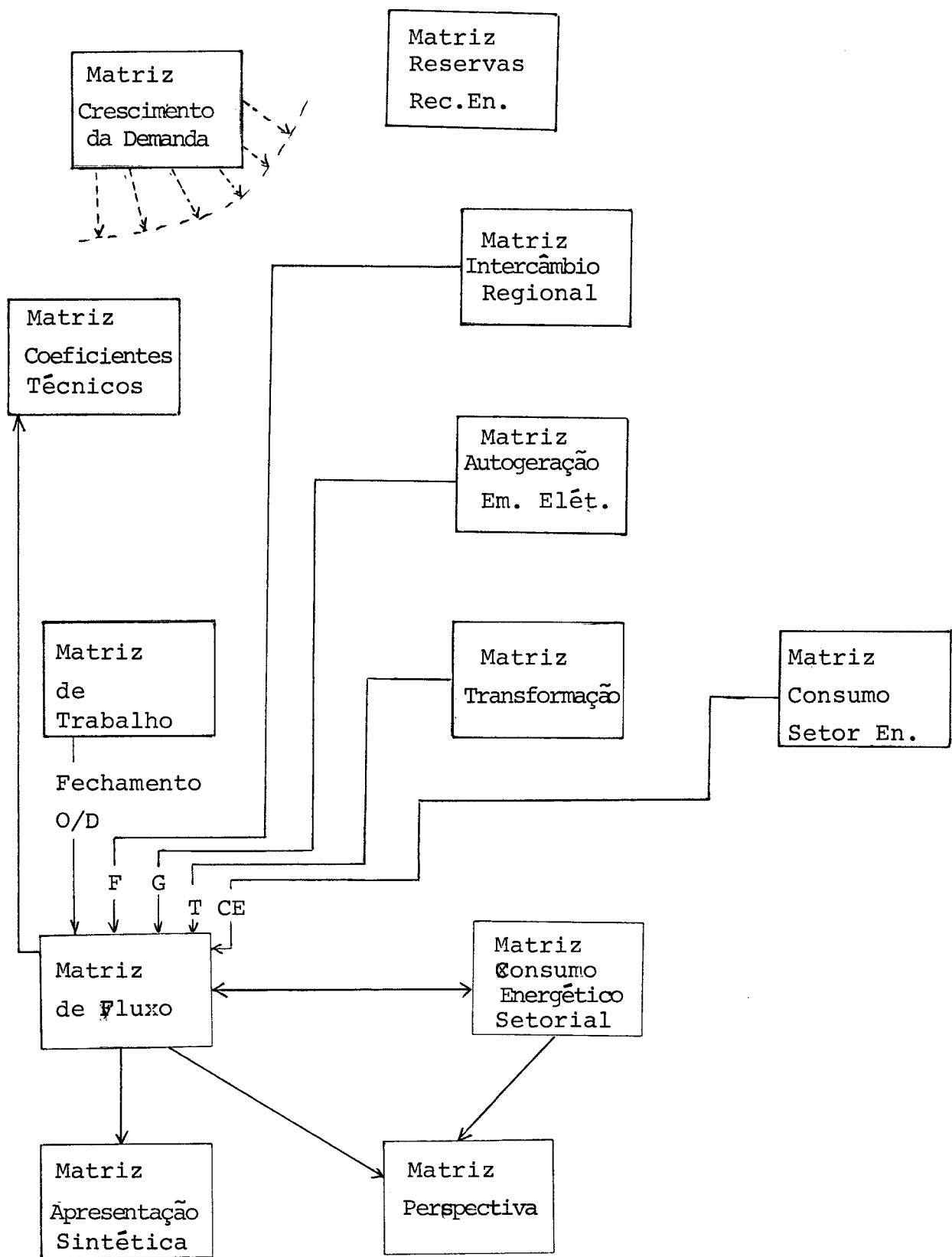
- (VII) Matriz de Auto-Geração de Energia Elétrica: É semelhante à Matriz de Consumo Energético Setorial e informa como os setores complementam suas necessidades de energia elétrica com geração própria. A totalização é transportada para a coluna T da Matriz de Fluxo.

- (VIII) Matriz de Intercâmbio Regional: Informa o intercâmbio de energia entre as Regiões. Sua totalização é transportada para a coluna F da Matriz de Fluxo.

Linhos: Energias, de 00 a 40

Colunas: Energia Recebida-FR (por regiões), Energia Fornecida-FF (por regiões) e Saldo do Intercâmbio ($F=FR - FF$)

DIAGRAMA VI, 1 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS MATRIZES DA MEB



- (ix) Matriz de Coeficientes Técnicos: Apresentada em formato semelhante ao da Matriz de Consumo Energético Setorial. O elemento da linha i (fonte de energia) e coluna j (setor consumidor) é a quantidade de energia consumida para produzir CR\$ 1.000 de valor da produção.
- (x) Matriz de Taxa de Crescimento da Demanda: Em formato da Matriz de Consumo Energético Setorial, expressa as taxas médias geométricas de crescimento do consumo, no quinquênio.
- (xi) Matriz de Reservas de Recursos Energéticos: Fornece o balanço da situação das reservas dos diversos recursos energéticos.
- (xii) Matriz Perspectivas: Elaboradas para 1970, 1985 e 2000. Apresentam colunas com agregações das colunas das Matrizes de Fluxo e de Consumo Energético Setorial.

No diagrama (VI.1) estão apresentadas, esquematicamente, as matrizes de dados e suas relações.

VI.1.3 MODELOS ENERGÉTICOS DA M.E.B.

Os modelos da MEB foram desenvolvidos para servirem efetivamente de apoio à tomada de decisão. Com essa intenção, o projeto calcou-se em análises da política energética nos aspectos "quadro institucional", e "objetivos e instrumentos da política energética". Foram, então, desenvolvidos metodologias para o "Modelo Geral de Decisão" e os "Modelos de Avaliação" constituídos ambos de vários submodelos.

VI.1.3.1 CONCEPÇÃO DE POLÍTICA ENERGÉTICA

Quadro institucional e problemas

Foram realizados estudos do quadro institucional federal envolvido direta ou indiretamente com a política energética, para identificação do papel desempenhado por cada órgão no direcionamento dos instrumentos de política. Estes estudos

se justificavam, dentro do projeto, exatamente pela preocupação de se elaborar modelos voltados ao processo decisório.

Os problemas de política energética foram conceituados em: (1) problemas conjunturais, decorrentes de oscilações aleatórias ou sazonais da conjuntura econômica; (2) problemas de desenvolvimento, decorrentes do crescimento dos setores da economia, da evolução tecnológica, da modificação dos hábitos de consumo e da utilização de recursos naturais ou de oscilações conjunturais acima dos limites de intensidade e duração previstos; (3) problemas institucionais são problemas de desenvolvimento que requerem alterações na estrutura intitucional fora do alcance do MME.

Os modelos desenvolvidos estavam voltados para "problemas de desenvolvimento". A idéia era de que a política energética não poderia estar voltada apenas para o suprimento da demanda, e por fontes tradicionais, mas também para substituições entre fontes e formas de energia, alteração em hábitos de consumo e introdução de novas tecnologias de energia. Nesta visão do problema dois pontos principais foram identificados como constrangedores da política energética: pelo lado da oferta, os longos prazos de maturação dos projetos; do lado da demanda a inércia para mudanças nos hábitos de consumo e os custos elevados envolvidos na substituição de energia.

Objetivos e Instrumentos da Política Energética

Com base em uma percepção do problema energético nos contextos econômico, social e político, os documentos da matriz indicavam, na seguinte ordem, os objetivos da política energética:

- I - Atendimento da demanda de energia;
- II - Custos mínimos de energia;
- III - Garantia de Fornecimento de Energia;
- IV - Promoção do desenvolvimento e redução de disparidades regionais;

V - Uso ótimo dos Recursos Naturais.

É certo que tais objetivos envolvem conflitos entre si e se esperava que tais conflitos pudessem ser resolvidos por modelos de custos e benefícios e propostas as soluções pela MEB.

Foram identificados sete instrumentos que alterariam as variáveis objetivos:

- a - Tarifas
- b - Investimento
- c - Subsídios
- d - Intervenção direta no consumo de energia
- e - Intervenção direta na oferta de energia
- f - Aceleração tecnológica
- g - Aceleração na prospecção de recursos naturais.

VI.1.3.2 MODELO GERAL DE DECISÃO

O modelo geral de decisão tem o enfoque básico de compatibilizar a oferta com a demanda. Traduzido em equações o enfoque busca obter, para as variáveis definidas na seção VI.1.2.2:

Para cada energia i,

Obter: $O_i = Z_i$

onde: $O_i = A_i - A_{C_i} + M_i$

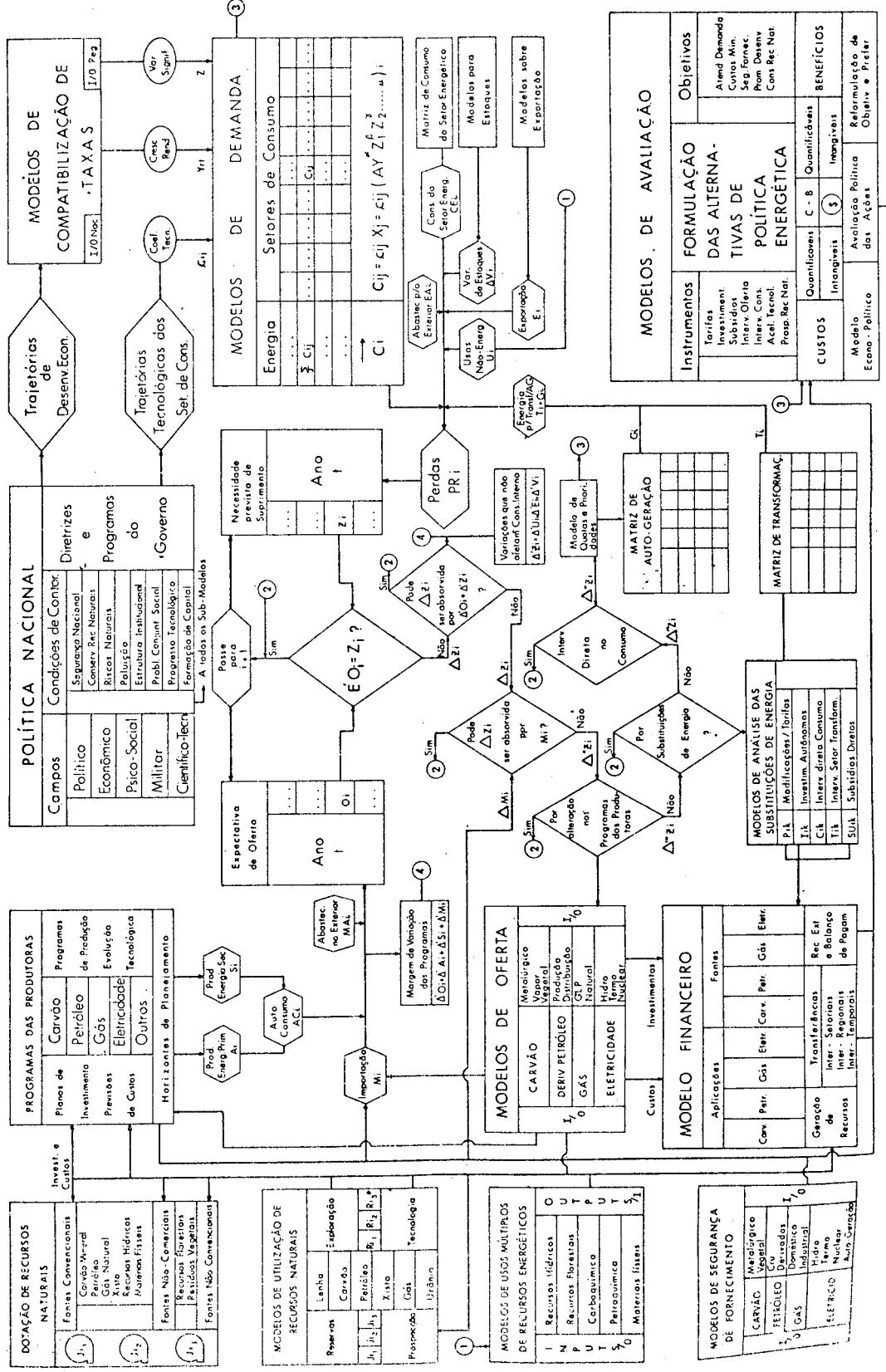
$$Z_i = D_i + C_{E_i} + U_i + T_i + G_i + E_i + R_i + \Delta V_i$$

"Sujeitos à trajetória de desenvolvimento considerada mais provável".

A representação básica do Modelo de Decisão está no diagrama (VI.2), na próxima página.

O fluxograma pode ser assim descrito em seus aspectos mais importantes:

MÓDELO GERAL DE DECISÃO — COMPATIBILIZAÇÃO DA OFERTA COM A DEMANDA



a) Cálculo das variáveisa.1 Oferta

A_i - fornecido dos programas das produtoras

A_{Ci} - deduzido do programa de fornecimento

M_i - projeção autônoma

$$O_i = A_i - A_{Ci} + M_i$$

a.2 Demandas

D_i - Calculado dos modelos de demanda, sujeitos a uma dada trajetória de desenvolvimento; projeção paramétrica.

C_{Ei} - Matriz de consumo do setor energético

U_i - Projeção por modelos de usos múltiplos ou por taxas exógenas de crescimento.

T_i - Matriz de Transformações

G_i - Matriz de Auto geração de Energia Elétrica

E_i - Projeção por simples tendência de séries históricas

R_i - Modelos de utilização

ΔV_i - Projeção por extração "ou modelos apropriados"

$$i = D_i + C_E i + V_i + T_i + G_i + E_i + R_i + \Delta V_i:$$

b) Compatibilização ($\geq i = O_i$)

Algorítimo:

1. Comparação inicial $\geq i: O_i$

Se $\geq i = O_i$, passar a outro tipo de energia,
 $i = i + 1$

Se $\geq i \neq O_i$, calcular $\Delta \geq i$ (ou ΔO_i):

$$\Delta \geq i = \geq i - O_i$$

2. Comparação $\geq i: \Delta' i + \Delta' O_i$ (ou ΔO_i , com os sinais adequados)

$$\text{Onde: } \Delta' i = \Delta U_i + \Delta E_i + \Delta V_i$$

$$\Delta' O_i = \Delta' A_i + \Delta S_i + \Delta' M_i$$

(faixas normais de variação das variáveis sem alteração de programas de produtoras)

$$\text{Se } \Delta z_i \leq \Delta \tilde{z}_i + \Delta' O_i, \quad i = i + 1, \text{ passo 1}$$

3. Análise de importações adequadas para compensar Δz_i .
4. Verificar se alteração nos programas das produtoras compensa Δz_i , respeitados limites nos prazos de maturação e recursos financeiros.
5. Analisar possibilidades de substituição de energia, a nível de formas ou consumo, respeitados prazos e custos envolvidos.
6. Os resíduos existentes devem ser compensados com restrições ao consumo.
7. $i = i + 1$, passar ao passo 1

Este modelo geral de decisão foi desenvolvido em maiores detalhes, mas apenas no aspecto metodológico, não chegando a ser implantado em computador.

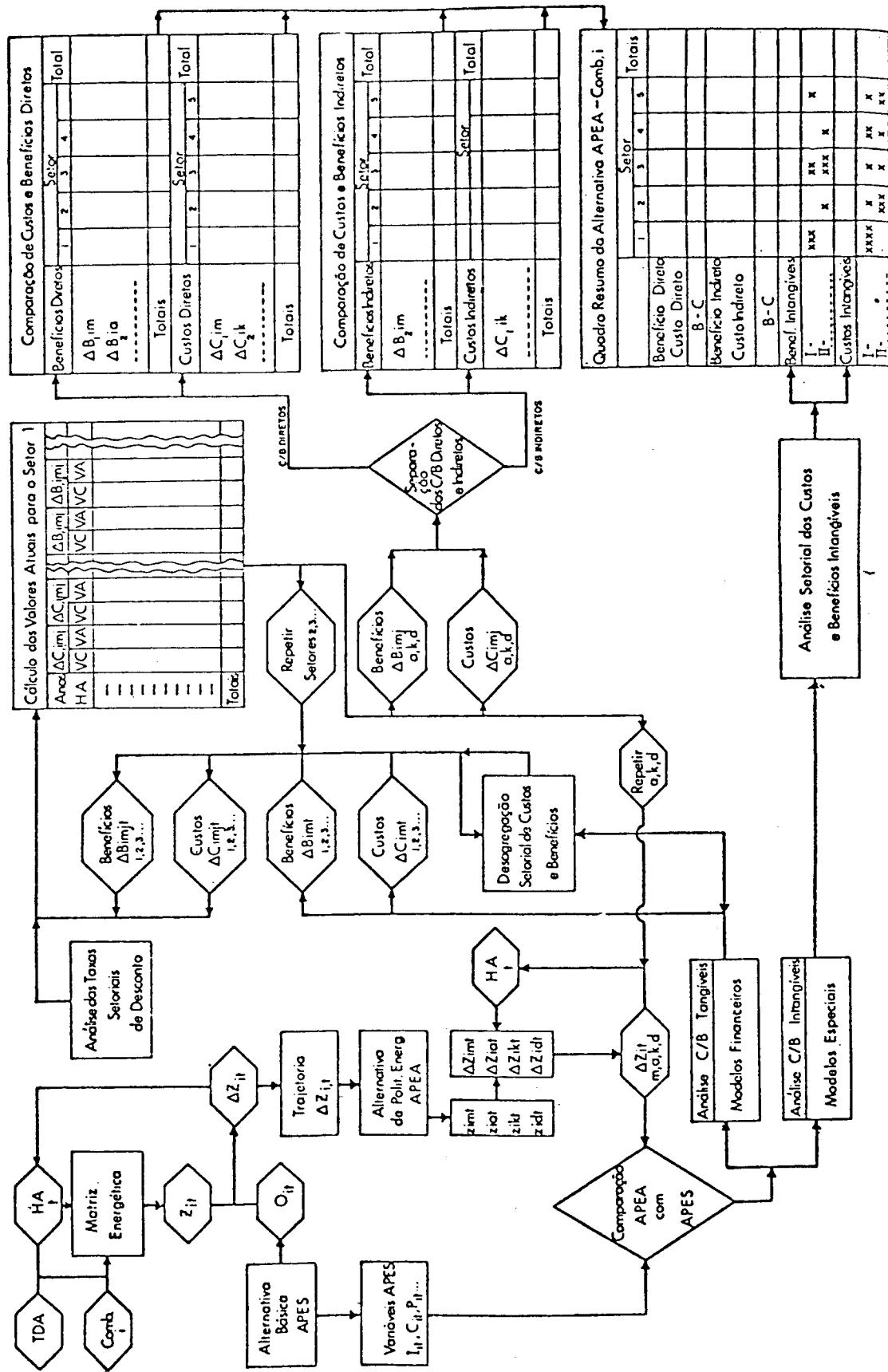
VI.1.3.3 MODELOS DE AVALIAÇÃO

Como parte do modelo geral de decisão encontram-se os modelos de avaliação. Tais modelos buscam avaliar para cada alternativa de política energética os seus impactos. A base

MODELO DE AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS - ANÁLISE DE CUSTOS E BENEFÍCIOS

Trajetória de Desenvolvimento A: TDA Combustível ou Energia i — Alternativa de Política Energética A: APEA

DIAGRAMA VI.3



conceitual está na análise custo/benefício. Para tanto são levados em conta custos e benefícios tangíveis ou intangíveis.

Obviamente estes modelos se colocam, por sua própria natureza, mais ao nível de concepções metodológicas do que propriamente na área de modelagem.

No diagrama (VI.3) está um fluxograma da metodologia. Para cada Trajetória de Desenvolvimento (TDA), energia i, ano t, a formulação de um Quadro Resumo de Alternativa (APEA), onde são computados, separadamente, os C/B diretos e indiretos, e assinalados os C/B intangíveis.

Os déficits Δz_i são analisados para cada alternativa de política, descritas estas pelo vetor de coeficientes que indicam a percentagem de déficit eliminada por cada mecanismo.

$$\Delta z_{imt} = z_{imt} \cdot \Delta z_{it}$$

$$\Delta z_{iat} = z_{iat} \cdot \Delta z_{it}, \text{ etc}$$

$$z_{imt} + z_{iat} + z_{ikt} + z_{idt} = 1$$

(m - importação, a - produção, k - substituição, d- demanda).

VI.1.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO

O projeto da Matriz Energética Brasileira foi uma tentativa séria de dotar o País de um poderoso instrumental de planejamento para energia, dentro de uma visão integrada de problema como um todo. Se tivesse tido continuidade é bem possível que o MME hoje estivesse obtendo muitos benefícios: uma base de dados confiável e volumosa sobre consumo e suprimento de energia; metodologias de integração dos vários sistemas de energia existentes; metodologias de planejamento global; metodologias de projeção tecnicamente mais elaboradas e apoiadas em hipóteses mais consistentes; entendimento mais claro das interrelações entre economia-energia-sociedade; melhor instrumental para a programação da entrada de novas fontes, como nuclear, álcool, etc.

Mas o projeto foi desativado. Por que?

A resposta não é simples e transcende uma análise técnica. Alguns fatores podem ter contribuído:

- o primeiro é certamente o poder. O MME era, e é, um Ministério de pouca força política para o controle de grandes empresas sob sua supervisão, que tradicionalmente mantinham independência na esfera de suas "decisões técnicas". Ora, a MEB pretendia justamente integrar a política, e esta integração necessariamente levaria a uma realocação de poder que não interessava a tais empresas. Era mais fácil combater um projeto, que a seus resultados.
- Em segundo lugar o momento. A conjuntura de então ainda não havia experimentado a crise energética e mesmo no exterior ainda não se tinha uma consciência clara da necessidade de um planejamento integrado de energia. As políticas de atendimento setorial da demanda eram facilmente justificadas como lógicas.
- Em terceiro, o próprio projeto, muito audacioso para a ocasião.

Do ponto de vista de modelagem energética já haviam experiências em outros países mais desenvolvidos, porém nenhuma tão abrangente como a Matriz. Conforme o Relatório Global Preliminar"... com o projeto MEB o Brasil adotou resolutamente uma diretriz de abordagem integrada do problema energético que muitos desses países (EUA, França, Itália, Canadá e Inglaterra) só estão aceitando aos poucos". O projeto MEB estava na fronteira do desenvolvimento tecnológico e com sérios compromissos de resultados. Muitas premissas do projeto eram por demais tecnicistas, no suposto de que os modelos seriam a solução para tudo: um "modelo geral de decisão", "modelos de custo e benefício" para avaliar as opções políticas, etc. Essa

abordagem tão ampla, numa situação de fronteira tecnológica, e com compromissos de prazo, levaram a algumas soluções equivocadas.

Por outro lado, a questão dos dados era séria face às históricas deficiências do país na área. Como disse o então Ministro Dias Leite, na apresentação do Sumário do Relatório Global Preliminar: "o projeto da Matriz pecou, inicialmente, pelo fato de ter subestimado a dificuldade de superar a ausência de informação e por considerar que um fluxo normal de dados poderia ser rapidamente montado".

- O impacto de algumas conclusões preliminares, também pode ter contribuído para o fim da Matriz. As projeções para 1985 da dependência de petróleo e de seu efeito no balanço de pagamentos, por exemplo, não poderiam ser bem vistas na época do "milagre econômico brasileiro".

O projeto da Matriz, com todas suas deficiências, pela natureza das análises envolvidas, estava "na frente do momento". A análise da projeção do balanço de pagamentos merece ser transcrita:

"O item mais significativo desse balanço são as importações de petróleo, avaliadas segundo a previsão abaixo de evolução dos preços médios CIF de óleo crú no mercado internacional:

1971/1975 US\$ 2,50/barril

1976/1980 US\$ 2,80/barril

1981/1985 US\$ 3,00/barril

As expectativas atuais são de que, com a política agressiva dos países produtores do Oriente Médio coordenada pela OPEP, esses preços deverão ter uma ascenção muito mais acen-tuada, havendo estimativas de que cheguem a US\$ 5,00 por barril antes de 1980. Nesse caso será justificável que os países consu-

midores/produtores que não são auto-suficientes, como os Estados Unidos e o Brasil, aumentem o esforço de pesquisa e prospecção de petróleo em seu território e na plataforma submarina, bem assim antecipem os seus programas de exploração de xisto, areias betuminosas, destilação de carvão e uso de fontes energéticas que substituam derivados de petróleo. O nível de equilíbrio desses preços será difícil de estimar, mas de qualquer forma a pressão sobre o balanço de pagamentos dos países importadores de petróleo se tornará quase intolerável" (Documento DT-GA.153, de 16/03/73).

O projeto foi desativado.

VII. 2 MSCA - MODELO DE SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS

O modelo foi desenvolvido por Emilio Lebre La Rovere⁶³, em trabalho de tese de mestrado submetida ao COPPE em junho de 1977.

VII.2.1 OBJETIVOS DO MODELO

O MSCA é um modelo de simulação usando análise paramétrica que visa testar hipóteses oriundas das preocupações do planejador, com a construção de cenários que representam o resultado das hipóteses de planejamento.

A fonte básica de dados do MSCA foi a MEB e os Balanços Energéticos Brasileiros. A partir dos dados de fluxo de energia da MEB para 1970, e dos dados de energia primária do BEN, são calculados os fluxos de energia para os anos seguintes, constituindo tais fluxos o "cenário básico". Hipóteses de planejamento (como variação nos fluxos, alteração de eficiências, introdução de novas fontes ou formas alternativas de energia, etc) são fornecidas ao modelo que calcula então novos cenários que servem de base à análise do impacto de tais hipóteses.

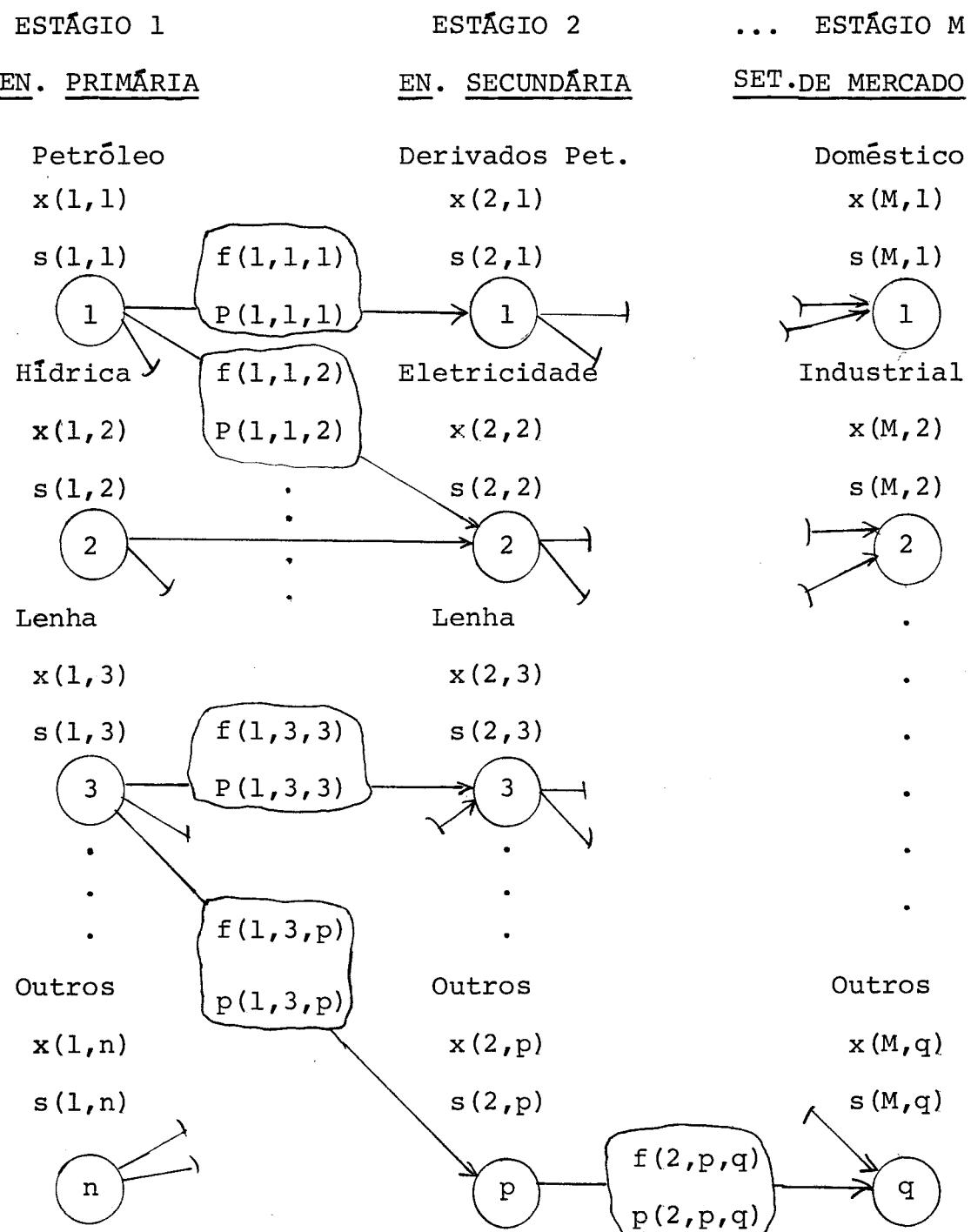
VII.2.2 DESCRIÇÃO DO MODELO

Representação do Setor Energético

O setor energético, quanto ao fluxo de energia, é descrito por um conjunto de vetores, cada vetor representando um dado estágio do fluxo de energia, como captação, transformações e consumo final.

O diagrama (VI.4) fornece a esquematização do setor energético no modelo.

DIAGRAMA VI.4 REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DE ENERGIA NO M.S.C.A.



No diagrama temos:

$x(i,j)$ - quantidade de energia produzida na forma j , do estágio i

$s(i,j)$ - variação de estoque de energia j , do estágio i

$f(i,j,k)$ - quantidade de energia j , do estágio i , transformada na forma k , do estágio $i + 1$

$p(i,j,k)$ - perdas na transformação da energia j , do estágio i , na forma k , do estágio $i + 1$

A modelagem só prevê fluxo de energia entre elementos de estágios consecutivos. (Quando não ocorre nenhuma transformação a forma de energia é repetida no estágio seguinte, como é o caso da lenha). Não é permitido fluxo entre elementos de um mesmo estágio, nem entre elementos de um estágio com algum elemento de estágios anteriores.

A representação é geral e pode ser desagregada segundo o número de estágios e elementos que se desejar. As únicas restrições são a memória de computador e o nível de desagregação dos dados.

Os usos não energéticos das diversas formas são representadas como um setor de mercado à parte.

Equações do Modelo

Duas equações para fechamento do balanço:

- A quantidade de energia (i,j) é igual à variação de estoques + somas dos fluxos + soma das perdas.

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

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

- A quantidade de energia $(i + 1, j)$ é igual à soma das energias que lhe são dirigidas no estágio anterior (i) .

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

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

onde $m(i) =$ nº de elementos do estágio i
 $N =$ nº de estágios.

O cálculo dos "coeficientes técnicos" envolve:

- Eficiência de transformação:

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

- Coeficiente de participação do lado da saída

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

- Coeficiente de participação do lado da entrada

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

VII.2.3 POSSIBILIDADES DO MODELO

O modelo foi implantado em computador IBM/370, em linguagem PL/I-F.

A ênfase no seu preparo foi um programa flexível quanto ao número de alternativas de utilização, não tendo havido preocupação quanto à otimização da programação (utilizou na versão inicial, em testes, de 1 a 2 minutos de CPU e 600 k bytes de memória).

Para a realização de testes a versão implantada em computador permite uma série de opções, como:

- Substituição de energia nos setores de demanda (nestes casos podem ser dados os "caminhos" de substituição e ordens de prioridade)
- Substituição de energia primária.
- Alteração de eficiências
- Alteração de fluxos ou de coeficientes de entrada ou saída
- Introdução de novas formas intermediárias, etc.

A trilha seguida por La Rovere é promissora. Trata-se de uma alternativa válida principalmente pela simplicidade de entendimento e manuseio de modelo, que facilita a interação com o planejador e permite que ele gerencie o processo, pela introdução e teste de suas premissas.

A carência de dados na ocasião impossibilitou a introdução de variáveis de custo e investimento, que seriam novos e importantes indicadores do impacto dos cenários projetados.

A montagem dos cenários foi feita a partir dos coficientes de participação e eficiência de 1970 (MEB), pois os dados do BEN forneciam apenas a coluna de energia bruta. Essa projeção de dados (da qual a estrutura de simulação de MSCA seria independente caso houvessem informações de evolução das matrizes) inclui duas hipóteses fortes: a primeira de que a evolução dos setores se dará de forma uniforme a partir da estrutura de 1970, o que não corresponde ao fato de que setores econômicos diferentes crescem a taxas diferenciadas; a segunda, de que os coeficientes de eficiência permanecem constantes, hipótese esta que não considera a evolução tecnológica, responsável pelo amento de coeficientes de eficiência.

VI.3 DESCRIÇÃO DE UMA EXPERIÊNCIA PESSOAL

VI.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O autor esteve envolvido com a equipe encarregada de dar continuidade ao trabalho de Emílio La Rovere no desenvolvimento do MSCA, cabendo-lhe a concepção teórica de um módulo e econômico a ser incorporado ao já existente módulo energético (que deveria continuar como núcleo do modelo). Os trabalhos de detalhamento, programação em computador e coleta de dados estiveram a cargo da empresa SCIENTIA - Engenharia de Sistemas, Desenvolvimento de Protótipos e Processos Ltda,¹²² contratada pela FINEP¹²³ Financiadora de Estudos e Projetos

Os trabalhos deveriam envolver:

- (1) Análise da estrutura do MSCA
- (2) Concepção de uma nova estrutura geral com um módulo econômico.
- (3) Detalhamento do módulo econômico, modificações no programa de computador e implantação da nova estrutura.
- (4) Coleta de dados e realização de testes.
- (5) Preparo de Manuais Técnico e do Usuário para os programas.

Durante a análise foram identificados algumas dificuldades que deveriam ser equacionadas de início. A primeira era a representação dos fluxos de energia do MSCA em computador, que levava à utilização do 600 K bytes e, portanto, não permitia a incorporação de dados econômicos. Em segundo havia a necessidade de criar uma rotina de verificação prévia da viabilidade de testes. Era, ainda, necessário estudar as disponibilidades de dados econômicos compatíveis com a desagregação do MSCA, antes de projetar as novas rotinas.

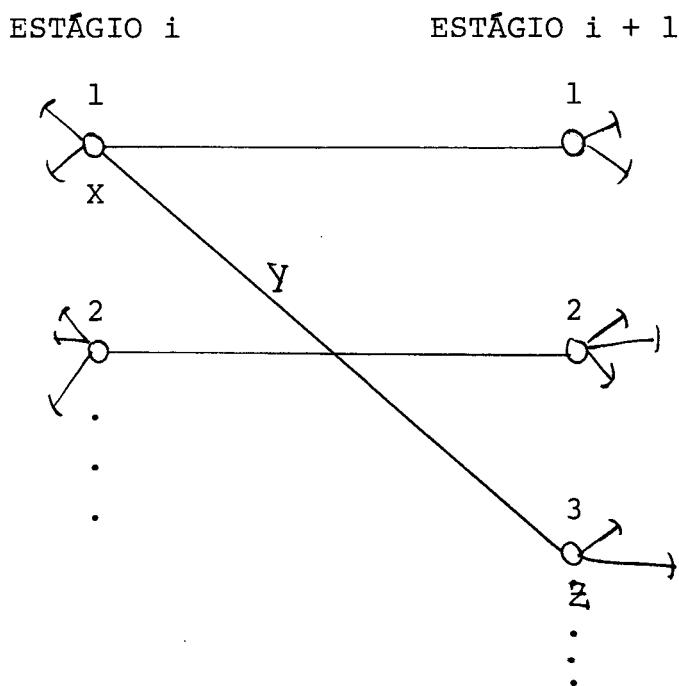
VI.3.2 DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES

- a - Representação de fluxos de energia

O MSCA adotava a representação dos fluxos em forma matricial, sendo isto a principal causa da grande utilização de Memória já que as matrizes eram esparsas.

A solução adotada foi a representação por nós e arcos do grafo de fluxo, em lugar de matrizes para todo o grafo. Exceto neste aspecto de programação, toda a estrutura lógica do MSCA foi mantida.

DIAGRAMA VI.5 NOVA REPRESENTAÇÃO DE FLUXOS NO NSCA



NÓ X: (i,1) ; ARCO Y: (i,1,3) ; NÓ Z : (i + 1,3)

Esta solução levou à reprogramação do modelo, ocasião em que se aproveitou para simplificar algumas rotinas do teste. A nova versão utilizou cerca de 150 k bytes de memória.

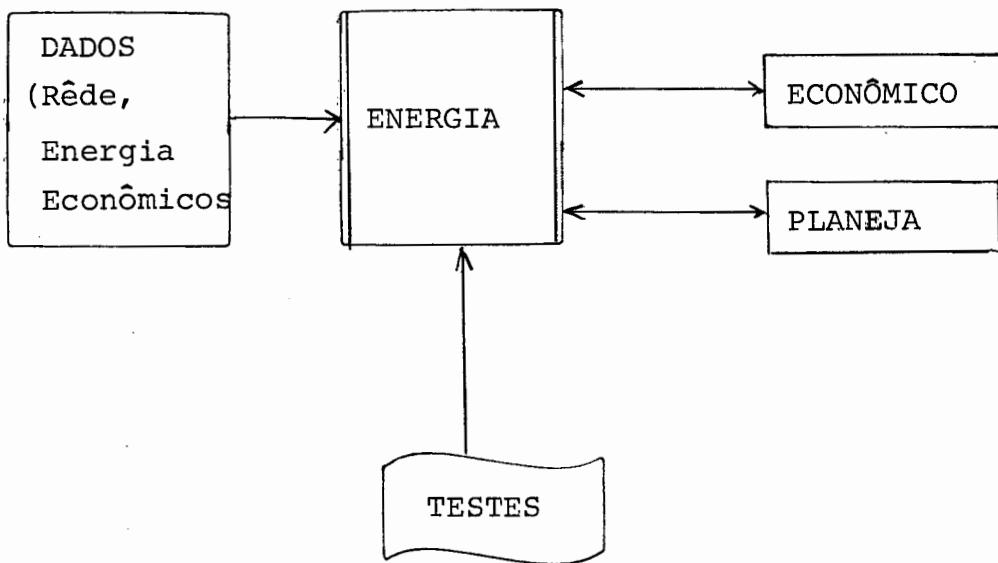
b - Estrutura Geral da Nova Versão do MSCA

A análise geral do modelo indicou que o módulo econômico deveria ser complementar ao energético, devendo este permanecer como núcleo do modelo. O módulo ECONÔMICO é utilizado na análise dos testes, complementando as informações de saída energética, ou na verificação de viabilidade de testes. O Módulo PLANEJAMENTO

NEJA executa cálculos de desembolso.

O modelo foi assim estruturado:

DIAGRAMA VI.6 NOVA ESTRUTURA DO MSCA



c - Módulo Econômico

A maior dificuldade para introdução do módulo ECONÔMICO no MSCA foi a pouca disponibilidade de dados e em alguns casos até ausência. Como o Modelo trabalha com fluxos globais não era possível a desagregação dos dados a nível de projeto, o que levou à necessidade de dados médios. Optou-se, ainda, pelo cálculo de variação nos dados econômicos entre um dado teste e o cenário básico, uma vez que havia pouca confiabilidade nas informações de investimentos ou custos globais do sistema energético.

As informações econômicas para cada elemento da rede (nó ou arco) são:

- Tempo de Maturação - TMATUR
Período médio de tempo entre a tomada de decisão e entrada em operação de um projeto
- Fator de carga - FATCAR

- Custo unitário (soma dos custos financeiro , manutenção , operação e de matérias primas, por unidade de energia)
- Investimento unitário (investimento por unidade de energia).

O módulo executa as seguintes funções:

- i) Para um dado teste, calcula a variação total de investimento ou de custo

$$\left. \begin{array}{l} \Delta I_i = \Delta E_i \times I_i / \text{FATCAR}_i \\ \Delta C_i = \Delta E_i \times C_i \end{array} \right\} \text{Por elemento}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta I_{cam} = \sum_i \Delta I_i \\ \Delta C_{cam} = \sum_i \Delta C_i \end{array} \right\} \text{Para um "caminho" (conjunto de nós e arcos alterados)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta I_{cenário} = \sum_{cam} \Delta I_{cam} \\ \Delta C_{cenário} = \sum_{cam} \Delta C_{cam} \end{array} \right\} \text{Para todo o novo cenário}$$

- ii) Para um dado teste, calcula os investimentos e custos poupados e adicionais

Invest. adicionais

$$\text{Se } \Delta I_{cam} > 0 \rightarrow \Delta I_+ = \Delta I_+ + \Delta I_{cam}$$

Invest. poupados

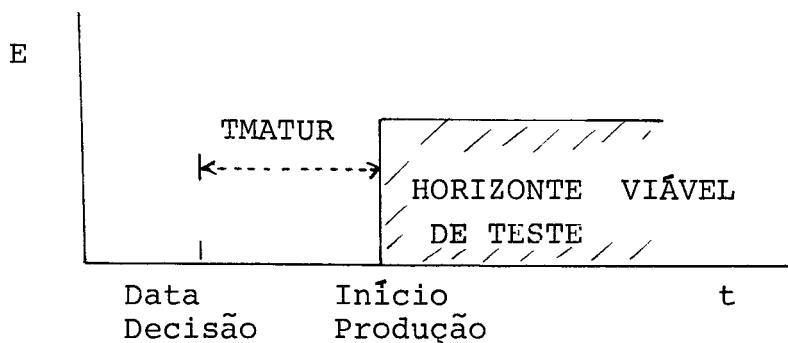
$$\text{Se } \Delta I_{cam} < 0 \rightarrow \Delta I_- = \Delta I_- + \Delta I_{cam}$$

Idem para custos

- iii) Verificação de viabilidade

A intenção inicial era introduzir curvas de entrada em operação de projetos (energia x tempo) de modo a verificar se um dado teste, alterando valores de energia, não o faz além

da viabilidade (por exemplo, introduzir para um horizonte de 7 anos acréscimo numa dada forma de energia que, tomada a decisão hoje, só teria capacidade para tal acréscimo em 9 anos: teste inviável). Como foi impossível obter dados para as curvas, calculou-se um tempo médio de maturação, assumindo-se a partir de tal período a possibilidade de produzir qualquer quantidade de energia:



Verificação: para cada caminho alterado no cenário base, se ANO ATUAL + TMATUR > ANO TESTE o teste é inviável.

d - Módulo Planeja

O módulo planeja realiza cálculo, para uma sequência de anos:

- (i) programa de desembolso até o tempo de maturação para o investimento adicional, dado a distribuição percentual dos desembolsos no período de maturação:

$$\begin{aligned}
 &\text{ano 1 a ano j} && x_1 \% \\
 &\text{ano j + 1 a ano k} && x_2 \% \\
 &\text{ano m + 1 a ano (TMATUR + 1)} && x_k \% \\
 &&& \sum_k x_i = 100\%
 \end{aligned}$$

- (ii) taxa mínima de atratividade

VI.3.3 PRINCIPAL DIFICULDADE

Os trabalhos, ao final, se constituíram apenas numa modesta contribuição às idéias já desenvolvidas no MSCA.

A experiência foi interessante e mostrou que a maior

dificuldade para modelagem energética no Brasil está nos dados, notadamente os de natureza econômica, devido à grande dificuldade de em obtê-los.

VI.4. OUTROS TRABALHOS

Alguns outros trabalhos merecem citação pela busca de uma visão quantitativa integrada de energia no país, ainda que formalmente não se constituam trabalhos de modelagem.

VI.4.1 BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

O Balanço Energético Nacional^{78,79,80} é uma iniciativa do MME, elaborado em grupo de trabalho constituído pelo Mi-nistério e com a participação de técnicos de suas empresas su-bordinadas. Foram divulgados Balanços de 1976, 1977 e 1978.

Os Balanços se constituem na apresentação de dados consolidados de consumo, projeção de consumo, produção e projeção de produção de energia primária ou secundária, em unidade equivalente de petróleo. A projeção de consumo é feita por cor-relação com hipóteses de incremento do PIB, enquanto a oferta é decomposta a partir de dados e informações fornecidos pelos vár-rios órgãos ligados às fontes energéticas. Os seguintes quadros são apresentados no Balanço:

- Consumo de energia primária, em TEP
Série histórica dos últimos 11 anos;
- Projeção de consumo de energia primária, em TEP
Série projetada dos próximos 10 anos (incluindo o ano corrente);
- Por energia primária, em TEP e unidades físicas:
consumo, projeção de consumo, produção e projeção de produção;
- Quadros suplementares: consumo de energia elétrica e derivados de petróleo.

O Balanço de 1978 introduziu duas novas informações: as reservas de energia do país e o consumo setorial. Os dados de consumo setorial ainda foram apresentados muito agregados mas já dentro da metodologia da MEB ("Matriz Sintética"). Esta iniciativa visou cobrir a ausência de tais dados, que só foram produzidos pela MEB. Era de se esperar uma maior desagregação nos próximos anos, à medida que os trabalhos evoluíssem. Em 1979 o Ministério das Minas Energias interrompeu a sequência de apresentações do BEN, com o argumento de que passará a divulgar uma nova matriz energética.

VI.4.2 MODELO ENERGÉTICO BRASILEIRO

O MME divulgou pela imprensa documento a respeito de um trabalho que pretende desenvolver denominado "Modelo Energético Brasileiro"⁸¹. Não se obteve documentação técnica mais completa, de forma que aqui serão descritas apenas as propostas do documento divulgado .

O Modelo Energético deverá constituir-se por:

- (a) "Um Modelo de Alocação de Oferta e Um Modelo de Demanda por Setores e por Tipos de Energia"
- (b) "Modelos Macroeconômicos e Intersetoriais e pelas Diretrizes e Objetivos de Política Nacional, expressos qualitativamente e quantitativamente."

A idéia é representar o sistema global de energia contendo os fluxos de energia até o uso final e relacionar o consumo de energia à economia. A intenção é transformar o modelo num instrumento de planejamento do Ministério. Os objetivos são:

- planejar e orientar a alocação de energia por setores da economia
- planejar e orientar a alocação de investimento no desenvolvimento de fontes de energia

- analisar o consumo de energia por setor
- relacionar a energia primária à secundária para análise de conversão no sistema
- identificar os setores mais intensivos em energia e analisar as possibilidades de conservação, substituição e complementariedade
- analisar o impacto de variações de preços de energia sobre o nível geral de preços
- compatibilizar os planejamentos das diferentes áreas do setor energético.

Como se observa o projeto tem intenções de seguir a trilha da matriz energética. Não há ainda definição explícita da de metodologias, mas diversas ilustrações indicam a possibilidade de que se venha a obter uma representação de fluxos semelhante à do RES (Brookhaven) ou do MSCA. Com relação aos objetivos do modelo nota-se a ausência de preocupação de análise dos preços relativos de energia como fator condicionante do consumo.

É importante que o MME absorva a experiência da MEB e execute, até o fim, este projeto, dando-lhe a seguir continuidade. O desenvolvimento pode se dar por partes e seria importante, para seu sucesso: (1) que não assumisse compromissos rígidos de estrutura, resultados e prazos; (2) que envolvesse a comunidade acadêmica, que por não ser condicionada a raciocínios oficiais pode contribuir muito com inovações e melhoria técnica no desenvolvimento do projeto. É importante que os trabalhos de modelagem não fiquem restritos à área governamental, pois em outros países as experiências mais bem sucedidas têm ocorrido justamente em instituições de pesquisa.

VI.4.3 TRABALHOS NA COPPE/UFRJ

O grupo de energia da COPPE vem realizando trabalhos de projeção do cenário energético brasileiro. Com o apoio

de órgãos oficiais, inclusive o MME, o grupo organizou um Workshop de Planejamento Energético, envolvendo especialistas de vários aspectos do planejamento energético, inclusive de membros da Fundacion Bariloche, com os seguintes objetivos:

- Discutir métodos de planejamento energético global, que analisem e integrem as diversas fontes tanto do lado da demanda como da oferta
- Formular uma base metodológica e identificar necessidades de dados
- Discutir alternativas de política energética do país tendo como horizonte o ano de 1995.

Os resultados do trabalho foram sintetizados no documento "Cenários Energéticos para o Brasil"⁹⁰. Foram testados diversos métodos econométricos de projeção de demanda, e de compatibilização de oferta e demanda, por energia e setor de mercado.

A maior dificuldade dos trabalhos esteve nos dados, pela falta de desagregação de informações que oferecem obstáculos à compatibilização da demanda setorial com as fontes de energia, problema este resolvido parcialmente.

No estágio atual já é possível ao grupo participar de iniciativas de modelagem energética, que enfim já vem fazendo ao nível de metodologias.

VI.4.4 TRABALHOS NO IF/USP

O Instituto de Física da Universidade de São Paulo vem realizando estudos de energia em diversos aspectos: tecnologia, análise do consumo e estratégias de longo prazo para a política energética.

Uma das linhas de trabalho é a análise da Matriz de Relações Intersetoriais (MRI) do IBGE (input-output). As

diversas formas energéticas da Matriz são analisadas quanto ao consumo pelos diversos setores e na contribuição à formação de capital. Uma comparação dos dados da MRI, convertidos a unidades de energia (utilizando preços médios), levou a números comparáveis aos da MEB, constituindo-se isto uma indicação da ferramenta utilizada.

É grande o espectro de aplicações da análise input-output que o grupo potencialmente pode desenvolver. Em particular seria oportuno a análise da sensibilidade à variação de preços de energia.

BIBLIOGRAFIA

1. ARNOPOULOS, Paris. Toward a Model Procedure for Social Forecasting. Technological Forecasting and Social Change. Vol 13 p.31 - 42, 1979
2. BERG, C.A. Energy Conservation Through Effective Utilization Science. Vol. 181: p. 128 - 138, July 13, 1973.
3. BLOOM, Mitchell F. Extending the Limits to Growth, A Review of the Next 200 Years: A Scenario for America and the World. Technological Forecasting and Social Change. Vol. 11: p.273 - 284, 1978
4. BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY. An Analytical Framework for the Assessment of Energy Resource and Technology Options for Developing Countries. EUA, B.N.L., Fev. 1978. 19 p.
5. BRONHEIM, Harold, et al. User's Guide for Regional Reference Energy Systems. USA, Brookhaven National Laboratory, Nov. 1975. 91p.
6. CARHART, Steven C. Energy Demand and Conservation Analysis. EUA, Brookhaven National Laboratory, março 1978 , 18 p.
7. CARTER, Anne P. Applications of Input-Output Analysis to Energy Problems. American Association for Advancement in Science. V. 184 (No 4134): p. 325 - 329, Abril 1974.
8. CHADWICK, George. A Systems View of Planning. Inglaterra, Pergamon Press, 1971. 390 p.
9. CHATEAU, B; LAPILLONNE, B., Long-term energy demand forecasting Energy Policy, p. 140 - 157, junho 1978
10. CHERNIAVSKY, E.A. Energy Systems Analysis and Technology

Assessment Program. New York, U.S., Brookhaven National Laboratory Associated Universities, Inc., 1974. 37 p.

11. CIMBLERIS, B. Caminhos Suaves da Energia. UFMG 1979 (Mimeo)
12. CNPq. Avaliação do II PBDCT (Energia). 1978 V. 2 p. 235 - 296 (mímeo)
13. COLE, Sam. Global Models: an Evaluation of their Relevance to policy. Journal of Policy Modelling, Vol. 1 , (No 1), 1978
14. COLE, Sam; CHICHILNISKY, Graciela. Modelling with Scenarios, Technology in North - South development. Futures, Vol 10, nº 4: p. 303 - 321, August 1978
15. COLÔ, Antonio; CARVALHO, Marco A.P.; PIMENTEL, Ruderico. Metodologia de Planejamento da Expansão do Parque Gerador do Sistema Elétrico Brasileiro. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, p. 831 - 845 , 845, Dez, 1978
16. COLÔ, Antonio; HOLTZ, A.C.T.; ALBUQUERQUE, João C.R. de. Principais Fontes para Geração de Energia Elétrica no Brasil. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, p. 817 - 830, Dez, 1978
17. COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DA CONFERÊNCIA MUNDIAL DE ENERGIA (CNB - CME). Estatística Brasileira de Energia. Rio de Janeiro, 1973 - 34p.
18. COMMITTEE on Measurement of Energy Consumption. Energy Consumption Measurement. Washington, D.C., U.S., National Academy of Sciences, 1977. 113p.
19. CONAES (Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems) U.S. Energy Demand: Some Low Energy Futures Science. Vol. 200.p.142 - 152. April, 1978.

20. COOK, Earl. The Flow of Energy in an Industrial Society.
Scientific American. p 135 - 144, Jan 1977
21. COPPE/UFRJ. Guia Metodologico - Workshop de Planejamento Energetico. Itaipava, Março 1979 (mimeo)
22. DALY, Herman E. Energy Demand Forecasting: Prediction or Planning? Journal of The American Institute of Planners. Vol 42 (1): 4 - 15, Jan, 1978.
23. DARMSTADTER, Joel; DUNKERLEY, Joy; ALTERMAN, Jack. How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis. Washington, Resources For the Future, INC, April 1977. 35 p.
24. EDEN, Colin; JONES, Sue; SIMS, D.; GUNTON, H. Images into Models. Futures. Feb. 1978. p56 - 62
25. FINEP. Seminário sobre Conservação de Energia. s.d (mimeo)
26. GIROT, Jacques. La Demande d'Energie. Methodes et techniques d'Modelisation. Paris, Edcnrs, 1977.
27. FORRESTER, Jay N.; MASS, Nathaniel J.; RYAN, Charles J. The System Dynamics National Model: Understanding Socio - Economic Behavior and Policy Alternatives. Technological Forecasting. Vol. 9 n (1/2): p 51 - 68, 1976
28. FRISCH, Jean - Pomain . L'équilibre mondial entre besoins et ressources d'énergie à L'horizon 200. France, EDF, Mar 77
29. GOLD, Fern Racine; EBINGER, Charles K. The Government's Role in the Energy Crisis. Current History. p. 27 - 30 e 35, July - Aug., 1978
30. GOLDEMBERG, J. Brazil: Energy Options and Current Outlook. Science. Vol. 200: p. 158 - 164, April, 1978

31. GOLDEMBERG, José. Energy Strategies for developed and less develop Countries. EUA. Princeton University, Feb, 1978.
32. GOLDEMBERG, José. Energia no Brasil. São Paulo, Brasil, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976. 158p.
33. GOLDEMBERG, José. Necessidades Energéticas Brasileiras. (mimeo) s.d. 16 p.
34. GOMES, F. Pimentel; NOGUEIRA, Izaias R. Extrapolação ou projeção: uma técnica difícil e perigosa. Ciência e Cultura. Vol 29 (12): p. 1386 - 1389, 24/2/1977.
35. GORDON, Richard L. The Hobbling of Coal: Policy and Regulatory Uncertainties. Science. Vol. 200: p. 153 - 157, April, 1978.
36. GREY, Jerry; SUTTON, George W.; ZLOTNICK, Martin. Fuel Conservation and Applied Research. Science. Vol. 200 (nº 4338): p. 135 - 142, April, 1978
37. GRONCKI, Paul J. A General Equilibrium Approach to Energy/ Environmental Economic Analysis. EUA. Brookhaven National Laboratory, Agosto, 1978. 19 p.
38. GUEDES, Ma. Carmo T; CILLO, Regina H. de. Uma Nova Política para Energia Elétrica. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, p. 910 - 918, Dez, 1978
39. HAEFELE, Wolf. A systems approach to Energy. American Scientist, Vol 62 (no.4): p 438 - 447, jul/ag, 1974
40. HAEFELE, W. On Energy Demand. Science and Public Policy. p 93 - 104. Abril 1978
41. HAEFELE, Wolf; SASSIN, Wolfgang, Energy Options and Strategies for Western Europe. Science. Vol 200: p. 164 - 167, April, 1978

42. HAEFELE, Wolf. Energy Choices that Europe Faces: A European View of Energy. Science. Vol 184 (nº 4134): p. 360 - 366, April, 1971
43. HAFNER, Everett. Optimum Power Requirements of Civilized Humans. Hampshire College EUA (mimeo)
44. HAMILTON, L.D; MANNE, A.S. Health and Economic Costs of Alternative Energy Sources. Vienna, IAEA, 1977
45. HAMMOND, Allen L. Energy: Elements of a Latin American Strategy. Science. Vol. 200: p. 753 - 754 May, 1978
46. HAMMOND, Allen L; METZ, William D; MAUGH II, Thomas. Energy and the Future. Washington, D.C. US. American Association for the Advancement of Science. 1973 184 p.
47. HAMMOND, Allen L.; METZ, Willian D.; MAUGH II, Thomas H. O Futuro Energético do Mundo. Rio de Janeiro, Brasil, Zahar Editora, 1975. 269 p.
48. HAYES, Denis. Energy for Development: third World Options. Worldwatch Paper 15. p. 5 - 43 December, 1977
49. HAYES, Dennis. Energy: the Case for Conservation. Worldwatch Paper 4 p. 6 - 77, January 1976
50. HENDERSON, P.D. India's Energy Problems. Finance & Development (arabic edition) p. 21 - 24 s.d.
51. HERRERA, Amilcar O.; SCOLNIK, Hugo D.; et al. Catastrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano. San Carlos de Bariloche, Argentina, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, 1977 127 p.
52. HOFFMAN, Kenneth C. Survey of Energy Modelling. SCIMA. Vol. 6 (Nos 1 - 2): p 1 - 15, 1977

53. HOFFMAN, Kenneth C. Technological - Economic Models for Energy Analysis. EUA, Brookhaven National Laboratory, Agosto, 1978. 21 p.
54. HOLDREN, John P. Fussion Energy in Context. Its Fitness for the long term. Science, vol. 200: p. 168 - 180 , April, 1978
55. HUBBERT. M.K. Survey of World Energy Resources. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. Vol. 66, p. 37- - 53, July 1973
56. I.B.G.E. Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, Brazil, I.B.G.E., 1977. 848 p.
57. JANOSI, P.E. de; GRAYSON, L.E. Patterns of Energy Corsumption and Economic Growth and Structure. Journal of Development Studies. Vol 8: p. 241 - 249, Jan.1972
58. KULCINSKI, G.L. KESSLER, G.; HOLDRGN, J.; HAEFELE, W.Energy for the Long Run: Fission or Fusion? American Scientist. Vol. 67 (nº1): p. 78 - 89, January - February, 1979
59. KORNBLUH, Marvin; LITTLE, Dennis. The Nature of Computer Simulation Model. Technological Forecasting=Vol. 9 (1/2): P. 3 - 26, 1976
60. KYDES, Andy S. The Brookhaven Energy System Optimization Model - Its variants and uses. EUA, BNL, Maio 1978 32 p.
61. LANDSBERG, Hans H. Low-Cost, Abundant Energy: Paradise Lost? Science. Vol. 184 (nº 4134): p. 247 - 253, April 1974
62. LAPILLONE, Bruno. MEDEE-2: A Model for Long - Term Energy Demand Evaluation. EUA, International Institute for Applied System Analysis, Nov, 1978. 45 p.

63. LA ROVERE, Emilio. Simulação de Cenários Alternativos para a Evolução do Setor Energético Brasileiro. Tese de Mestrado, COPPE, Rio de Janeiro, Junho, 1977. 108p.
64. LARSSON, YNGVE; FOGELSTROM, Lennart. A model for Long-Range Financial Planning in Energy Utilities. 8a. World Energy Conference, Julho 1971.
65. LATTES, Robert. Perspectives énergetiques mondiales Synthèse d'études parues em 1976 et 1977. (S. indicações).
66. LAVE, LESTER B. The Nature of the Energy Crisis Current History. vol. 74 (nº 435): p. 97 - 138, March 1978
67. LEITÃO, Dorodame Moura. O Etanol como fonte de energia. Brasil Açucareiro. Jan. 1979
68. LEVY, Andrea; et al. Um modelo para Transmissão de Energia por Gasoduto. Rio, FINEP, 1976
69. LONNROTH, Mans. The energy link between the north and the south - more questions than answers. Nov 1978 (Mimeo)
70. MACULAN FILHO, Nelson. Aplicação de Modelos Matemáticos aos Problemas de Decisão. 1977 (Mimeo)
71. MAINGUY, Y. L'économie de L'énergie. Paris, França, Dunod. 1967. 532 p.
72. MALLMANN, C.A. Calidad de Vida Y Alternativas para el Desarrollo. San Carlos de Bariloche, Argentina, Fundacion Bariloche, Septiembre, 1975. 13 p.
73. MANNE, Alan S. ETA-MACRO: A Model of Energy - Economy Interations. Department of Operations Research - Stanford University, Dez 77 - 33 p.

74. MARTINO, Joseph P.; CHEN, Kuei-lin. Cluster Analysis of Cross Impact Model Scenarios. Technological Forecasting and Social Change. Vol. 12: p. 61 - 71 1978
75. MEARS, Leon G. Brazil's Agricultural Energy Program Moving Ahead. Foreign Agriculture. p. 5 - 7, July, 1978
76. MEYER, Niels. Energy in a Sustainable Society: How much electricity do we really need? Science and Public Policy. p. 358 - 367, october, 1978
77. MICCOLIS, J.M.F. Alternative Energy Technologies In Brazil Interciênciam. Vol. 3 (nº5): p. 301 - 309, Sep-oct, 1978
78. MME (Ministério das Minas e Energia). Balanço Energético Nacional - 1976 (BEN 76)
79. MME (Ministério das Minas e Energia). Balanço Energético Nacional - 1977 (BEN 77)
80. MME (Ministério das Minas e Energia) Balanço Energético Nacional - 1978 (BEN 78)
81. MME. Síntese do Modelo Energético Brasileiro. (in "O GLOBO" 30/08/79)
82. MME; IPEA. Matriz Energética Brasileira - Sumário do Relatório Global Preliminar. (s.d.)
83. MOORE, Terry. Why Allow Planners to Do What They Do? A Justification from Economic Theory. Journal of the American Institute of Planners. Vol 44, nº 4: p. 387 - 398, oct, 1978
84. MOREIRA, J.R.; VANIN, V.R.; GOLDEMBERG, J. Energy Balance for the production of Ethyl and Methyl Alcohol. SP. I.F./USP, Março 1979

85. MORGAN, M. Granger, (organizador). Energy and Man: Technical and Social Aspects of Energy. New York, U.S., IEEE PRESS, 1975. 521 p.
86. MOUMONI, A. Energie Solaire et Developpement. (mimeo) s.d.
13 p.
87. MOURA, Carlos R. dos S. Panorama Energético Mundial e as Alternativas de Energia. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, p. 887 - 899, Dez, 1978.
88. NUNES, Marcio A.V. Novas Fontes de Energia: Uma opção para a crise Energética. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia, p. 846 - 858, Dez, 1978
89. OLIVEIRA FILHO, Cesar Cals. Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Brasil, Eletrobrás, 1978. 30 p.
90. OLIVEIRA, Adilson; ROSA, L. Pingelli, ARAÚJO, J. Lizardo R.H. Relatório baseado no Workshop de Planejamento Energético. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, s.d. (mimeo)
91. ORGANISATION for Economic co-operation and Development. World Energy Outlook. Paris, França, 1977. 106 p.
92. PARIKH, Jyoti; PARIKH, Kirit. Energy Requirements - Approaches to Projection. WESSP meeting. Nov, 78. (mimeo).
93. PENNER, Peter S. Cynics, Martyrs, and Energy Conservation. Science and Public Policy. p. 105 - 112
94. PENNER, S.S.; ICERMAN, L. Energy. EUA, Addisson - Wesley, v.1
95. PHILIPSON, Lloyd L. Market Penetration Models for Energy Production Devices and Conservation Techniques. Technological Forecasting and Social Change. Vol.11 p. 223 - 236, 1978

96. RICHARDSON Jr., John M. Global Modelling 2. Where do now?
Futures. Vol. 10 (nº 6): p 476 - 491, Dez 1978
97. ROBERTS, Edward B. On Modelling. Technological Forecasting.
Vol. 9, (nº 1/2): p. 231 - 238, 1976
- 98 ROBERTS, M. Economic Consequences of Energy Costs. Revired
Harvard Institute of Economic Research Discussion
Paper. nº 278, March 1973.
99. SAATY, Thomas; MA, Fred; BLAIR, Peter. Operational gammaing
for energy policy analysis. Energy Policy. Vol 5
(no 1): p. 63 - 75, March, 1977.
100. SANDBACH, Francis. The Rise and Fall of the "Limits to
Growth" Debate. Social Studies of Sciences. Vol 8
p. 495 - 520, 1978
- 101 SCHIPPER, Lee; LICHTENBERG, Allan J. Efficient Energy Use and
Well-Being: the Swedish Example. Science. Vol. 194
(nº 4269): p. 1001 - 1013, December 1976
- 102 SCHIPPER, Lee; HOLDREN, John P. Energy and Economic Well-Being
Nov., 1978 (mimeo)
103. SCHMITT, Roland W., STEWART, Peter J. Commercializing Energy
technology. Energy Systems and Policy. Vol. 2 (nº2)
p. 169 - 177, December, 1976
104. SCHULZE, Dieter. On the Logical - Methodological Foundations
of Forecasting. technological Forecasting and Social
change. Vol. 12, nº 2/3: p. 125 - 133, 1978.
105. SCHUMACHER, William. World Energy Balance. Rio de Janeiro,
1º Congresso Brasileiro de Petróleo, Nov. 1978. 35 p.
106. SCHWARTZMAN; Simon. Bases para uma politica científica no
Brasil. 1978. (mimeo).

107. SIMON, J.C. Complexity Concepts and the Limitations of Computable Models. Technological Forecasting and Social change. Vol. 13. p. 1-11, 1979
108. SHAKIF M. Nawaz; KABIR, Chowdhury . System Dynamics Modeling For Forescasting Multilevel tecnological substitution. Technological Forecasting and Social Change. Vol. 9(1/2) p. 89 - 112, 1976
109. SLESSER, D; BAIN, D.; HOUNAM, I. Perspectives for Long - Term Energy Policy. Futures. Vol. 11 (no 1):p.44 - 45, Fev. 1979
110. STARR, Chauncey. Energy and Society. Chem.tech.,p. 248 - 255 april, 1978
111. STARR, Chauncey; FIELD, Stanford. Energy Use Proficiency: The Validity of Interregional Comparissms. Energy Systems and Policy. Vol. 2 (No 2), p. 211 - 232,1978
112. STOVER, John G. Use of Decision Modelling for Substitution Analysis: Application to Acceptance of New Elettricity Generating Technologies. Technological Forecasting and Social Change. Vol 12 (No 4): p. 337 - 351, 1978
113. SULLIVAN; CLAYCOMBE, William G. and; WAYNE, W. Fundamentals of Forescasting. Technological Forecasting and Social Change. vol. 12, n° 4: p. 381 - 382, 1978
114. TESSMER, R.G.; HOFFMAN, K.C.; BEHLING, B.G. Coupled Energy System - Economic Models and Strategic Planning. Comput. & Ops. Res. Vol 2: p. 213 - 224, 1975
115. THOMAS, John A.G. (editor). Energy Analysis. EUA, Westview Press Inc, 1977. 162 p.
116. TRAIN, R.E. Energy Problems and Environmental Concern. Science and Public Affairs P. 43 - 47, 1973

117. VALLEE, Jacques. Modeling As a Communication Process: Computer Conferencing Offers New Perspectives. Technological Forecasting and Social Change Vol. 10: p. 391 - 400, 1977.
118. VARSAVSKY, Oscar. Modelos Matemáticos Y Experimentacion Numerica. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Planejamento Econômico e Social.
119. WEINBERG, Alvin M. Reflections on the Energy Wars. American Scientist. Vol. 66 (nº 2): p. 153 - 158, March-April, 1978
120. CHURCHMAN, C. West. The Systems Approach, Delecort Press, Inc, New York, 1968
121. EDELMAN, David J. Recent Energy Models: A review of methodologies. J. Environmental Systems, Vol. 7 (3) p. 279 - 291, 1977 - 78
122. SCIENTIA Engenharia de Sistemas, Desenvolvimento de Protótipos e Processos Ltda. Assessoria no Desenvolvimento de um Modelo de Previsão do Impacto das Fontes Não-Convencionais de Energia. 1978
123. HUGHES, Barry; Mesarovic, Mihajlo. Population, Wealth, and Resources up to the Year 2000. Futures, Vol 10, nº 4, p. 267 - 282, August 1978.

APÊNDICE

CLASSIFICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS POR ASSUNTO

Por ser grande o número de referências bibliográficas e de assuntos abordados pelas mesmas, neste apêndice acham-se agregadas, de acordo com o assunto, as referências utilizadas.

Para cada assunto as referências são listadas de acordo com a numeração correspondente que recebem na bibliografia (esta em ordem alfabética de autor). Referências que abordam mais de um assunto selecionado são relacionadas tantas vezes quanto os assuntos correspondentes. Quando uma dada referência foi explicitamente citada no texto é assinalada com asterisco (*).

1. ENERGIA EM GERAL

1.1 POLÍTICA ENERGÉTICA/ENERGIA E SOCIEDADE

* (20)	* (23)	* (31)	(35)	(45)	(46)
(47)	(61)	(66)	(69)	(76)	(85)
(87)	* (94)	(98)	* (110)		

1.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

(6)	(18)	(22)	(43)	* (71)	(94)
(111)	(115)	* (23)			

1.3 DESCRIÇÃO DE CONSUMO EM PAÍSES

(19)	* (20)	(29)	(41)	(42)	(48)
(50)	(94)	(101)	(102)		

1.4 DADOS GLOBAIS DE CONSUMO

* (20)	(28)	* (31)	* (40)	(46)	(47)
(57)	(65)	(91)	(105)	* (110)	

1.5 FONTES DE ENERGIA

(35) (44) (54) (55) (58) (86)

1.6 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

(2) (6) (25) (36) (49) (93)

1.7 OUTROS

(103) (116) (119)

2. ENERGIA NO BRASIL

2.1 POLÍTICA ENERGÉTICA E VISÃO GERAL DO CONSUMO DE ENERGIA

*(30) (32) (33) (38) (77) (87)

2.2 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

(15) *(30) *(31)

2.3 DADOS DE CONSUMO E PROJEÇÃO

*(17) (21) *(25) (32) *(78) *(79)
 *(80) *(82) *(31) *(30)

2.4 DADOS SOBRE FONTE DE ENERGIA

*(12) * (16) (67) (75) (77) *(82)
 (84) (88) (89)

3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO, EXCETO ENERGIA

3.1 TEORIAS E METODOLOGIAS

(1) *(14) (24) *(27) *(59) (70)
 *(96) *(97) (107) (109) *(117) (118)
 *(120) *(121)

3.2 DESCRIÇÃO DE MODELOS GLOBAIS

(3)	(13)	*(27)	*(51)	(100)
*(121) *(14) *(123)				

3.3 DESCRIÇÃO DE MODELOS ESPECÍFICOS

(1)	(74)	(95)	(107)	(112)
-----	------	------	-------	-------

4. MODELOS ENERGÉTICOS NO EXTERIOR

4.1 METODOLOGIAS

(4)	(5)	(37)	(39)	(43)	*(26)
*(121)					

4.2 GLOBAIS

*(7)	*(9)	*(10)	(13)	*(26)	*(52)
(53)	*(60)	*(62)	*(73)	*(92)	(109)
(114)	*(121)	*(123)			

4.3 ESPECÍFICOS

*(26)	(64)	(95)	(99)	(108)	(112)
-------	------	------	------	-------	-------

5. MODELOS ENERGÉTICOS NO BRASIL

5.1 METODOLOGIAS

(21)	*(81)	*(82)	(84)	*(90)	*(63)
------	-------	-------	------	-------	-------

5.2 GLOBAIS

(63)	*(81)	*(82)	*(122)
------	-------	-------	--------

5.3 ESPECÍFICOS

(15)	(68)
------	------

6. POLÍTICA E PLANEJAMENTO EM GERAL

(8)	(15)	(83)	*(106)
-----	------	------	--------

7. OUTROS

(74) *(56) (72) (104) *(106) (113)