

TESE DEFENDIDA POR ARLINDO  
KAMIMURA E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 18/05/2000  
  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Relações não Lineares para Avaliação  
Prospectiva Macroeconômica: PIB e  
Demanda de Energia no Brasil**

**Autor: Arlindo Kamimura**

**Orientador: Prof. Dr. Sinclair Mallet Guy Guerra**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Relações não Lineares para Avaliação  
Prospectiva Macroeconômica: PIB e  
Demanda de Energia no Brasil**

**Autor: Arlindo Kamimura**

**Orientador: Prof. Dr. Sinclair Mallet Guy Guerra**

**Curso: Engenharia Mecânica**

**Área de Concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2000

S.P. - Brasil

802011534

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Relações Não Lineares para Avaliação Prospectiva  
Macroeconômica: PIB e Demanda de Energia no Brasil**

**Autor: Arlindo Kamimura**

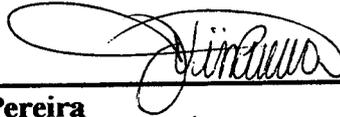
**Orientador: Prof. Dr. Sinclair Mallet Guy Guerra**



---

**Prof. Dr. Sinclair Mallet Guy Guerra**

**Instituição: FEM/UNICAMP**



---

**Prof. Dr. José Tomás Vieira Pereira**

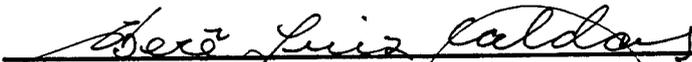
**Instituição: FEM/UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Arnaldo da Silva Walter**

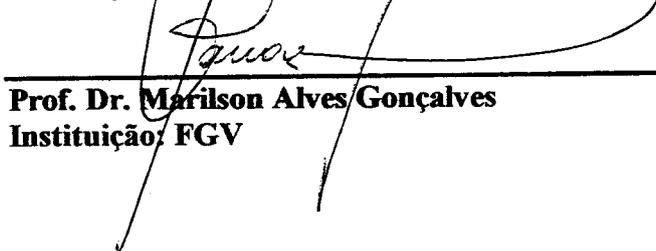
**Instituição: FEM/UNICAMP**



---

**Prof. Dr. Iberê Luiz Caldas**

**Instituição: IF/USP**



---

**Prof. Dr. Marilson Alves Gonçalves**

**Instituição: FGV**

**Campinas, maio de 2000.**

## **Dedicatória**

*In memoriam:* aos meus pais e à Gláucia.

Dedico também: aos meus filhos Carlos, Bibiana, Tomás, à minha esposa Welly e à minha irmã Manoela.

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Sinclair M. G. Guerra, orientador e, acima de tudo, amigo.

Ao Prof. André T. Furtado, por me alertar para os inúmeros pontos obscuros deste trabalho, desde o início do seu delineamento, enquanto mestre da disciplina de Economia da Energia. Alguns, acredito ter esclarecido com relativo sucesso, outros, nem tanto.

Ao Prof. Iberê L. Caldas, ao Prof. Marilson A. Gonçalves, ao Prof. Márcio L. S. Santos e ao Prof. José Tomás V. Pereira, pelas sugestões e paciência em discutir este trabalho.

Ao Sergio Barillari e ao Edison Aguilar, pela eficiente condução através dos labirintos da informática.

Ao José L. Juhas e ao Luiz T. S. Prado, pelas lições de macroeconomia.

Ao Sergio W. Ennes, Dr. Dorel S. Ramos, José Roberto Chaves, José Antonio O. Rosa e ao Yoshio Kawamura, pelo incentivo.

Aos amigos e colegas do Departamento de Planejamento da antiga CESP: Castro, Pessine, Carlinhos (2), Caio, Silas, Sival, Gelson, Cleide, Damião, Eliani, Cristina, Frederico, Hirata, Zé Paulo, Paiva, Reinaldo, Mazziero e Nei, pela compreensão e também pela abstinência de fazer comentários irônicos.

*“Criação é coisa sem regra”*

Agadman Benvindo, artista plástico baiano

## Resumo

Kamimura, Arlindo, *Relações não Lineares para Avaliação Prospectiva Macroeconômica: PIB e Demanda de Energia no Brasil*,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 232 p., Tese (Doutorado)

No início da década de oitenta, vivia-se ainda, uma fase residual de euforia e otimismo econômicos, apesar dos choques do petróleo. Por essa ocasião foram realizadas previsões de demanda de energia, por diversos grupos, em diferentes instituições, cujo horizonte era o final do século. Essas previsões revelaram-se excessivamente sobre-estimadas, mesmo aquelas concebidas com um espírito mais crítico, caso dos estudos, nos quais o autor desta tese foi participante. As previsões geradas nos meios governamentais, considerando a economia crescendo à taxas acima de 10% ao ano, até o final do século, justificaram uma série de antecipações de investimentos, extremamente danosa à nação, principalmente no tocante à geração de energia elétrica. No propósito de, no futuro, poupar a sociedade de episódios semelhantes, procura-se, neste trabalho, investigar as possíveis causas dos erros nas previsões, além de oferecer um instrumento de subsídio aos estudos prospectivos econômicos e energéticos. Isto, apesar do ambiente institucional atual do setor, mais preocupado com o curto prazo, não apresentar as mesmas características funcionais do passado. A conclusão que se chega é a de que a atividade econômica, através do PIB - *produto interno bruto*, é a principal variável econômica a ser prospectada, para uma correta e adequada análise das necessidades futuras de energia. Entretanto, qualquer modelo de avaliação macroeconômica esbarra na questão, ainda não resolvida, dos mecanismos que induzem os agentes ao *investimento*, produzindo como consequência, a variação do estoque de capital, responsável pela geração de bens e serviços. No sentido de se contornar este problema, apresenta-se uma abordagem alternativa, baseada na semelhança com certos fenômenos presentes em outros sistemas *naturais*, especificamente os físicos e biológicos. Com isto, procura-se oferecer uma possível descrição teórica dos fatos observáveis na economia, como a queda sistemática da produtividade do capital e das flutuações na economia. Tais analogias autorizariam uma eventual utilização do instrumental matemático associado a estes últimos, em especial, a utilização de equações diferenciais e de diferenças, não lineares. Após a argumentação teórica e apresentação de um plausível mecanismo explanatório dos fenômenos econômicos citados, utiliza-se destes resultados, para o desenvolvimento de um modelo empírico de previsão macroeconômica, ajustado ao período de 1980 a 1997 e, com o auxílio deste modelo, são realizados dois exercícios prospectivos do PIB, conectados a dois cenários de investimentos. Aplica-se em seguida, este mesmo modelo, para numa análise *ex-post*, investigar criticamente, as condições, que levaram àqueles resultados concernentes à previsão da demanda de energia, efetuados em 1980.

*Palavras Chave:*

Previsão de PIB e Demanda de Energia, Sistemas Naturais, Macroeconomia, Flutuações Econômicas, Equações Diferenciais não Lineares, Modelo Empírico.

## Abstract

KAMIMURA, Arlindo, *Non Linear Relations for Prospective Macroeconomic Evaluation: GNP and Energy Demand in Brazil*, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 232 p., PhD Dissertation.

In the beginning of the eighties, the Brazilian economy displays still, a relative exuberancy, nevertheless the successive oil shocks, and, at this time, some energy demand forecasts till 2000, was performed. Such forecasts, embedded by an optimistic environment, gave as a consequence, an over-estimation of energy demand, even those produced with higher criticism. This fact has induced, at this time, an anticipation and also an over-estimation of investments, mainly in base framing, like energy supply, which was extremely damaging to the society. In order to avoid similar undesirable facts in the future, some investigations about the possible causes of the forecasts failures were performed. This was done even knowing that the importance of this kind of worry has been changed in the past few years, addressed and restricted to the short term due to the present institutional context. The conclusion was that the GDP - gross domestic product - evaluation, represent the core of the whole misunderstanding and the main variable to be estimate, in order to get an acceptable energy demand prospective focus. A mathematical alternative approach, from a non orthodox point-of-view, to avoid the discussion concerned to the until now unsolved aspects of "theory of investment" or how capital equipment grows through investment process, is presented. Such approach allows to give simple explanation about some macroeconomic phenomena, specifically the theoretical mechanism related to the dynamic fluctuations in economy, known as *Business Cycles*. Analogies between economies and natural systems like fluids and biological systems were performed, so that the employment of non-linear differential and difference equations to describe the so mentioned aspects of the macroeconomic behavior was justified. After the presentation of this theoretical model to explain the economic fluctuations, another empirical model to fit better historical data, covering the 1980-1997 period, is presented. Then two scenarios of investments are employed to perform a prospective analysis of GDP for the years ahead. This model is also applied to get an *ex-post* analysis of the conditions, which gave origin to the old energy demand forecasts, done in 1980.

### *Key Words*

GDP and Energy Demand Forecast, Natural Systems, Macroeconomic Model, Business Cycles, Non Linear Differential Equation, Empirical Model.

# Índice

1 - Introdução	1
2. Revisão bibliográfica	16
2.1 Relação entre Demanda de Energia e Atividade Econômica	16
2.1.1. Aplicações do MEDEE ao caso brasileiro	27
2.2. Os Ciclos Econômicos	39
2.2.1. Histórico	39
2.2.2. Teorias e Críticas sobre Ciclos	45
2.2.3. Modelos Exógenos e Endógenos de Ciclos Econômicos	61
2.2.4. Ciclos econômicos mundiais e brasileiros	66
3. Metafísica e Métodos	78
3.1. Determinismo e Liberdade: Aspectos Históricos e Filosóficos	78
3.2. Previsibilidade em Sistemas Físicos Complexos	89
3.2.1. Sistemas complexos	89
3.2.2. Sistemas Inanimados e Viventes	92
3.2.3. O Tempo e o Pêndulo	96
3.2.4. Reduccionismo e Holismo	99
3.2.5. O Número de Reynolds da Fluidodinâmica	101
3.3. Previsibilidade em Sistemas Econômicos e Analogias com Sistemas Físicos	
Complexos	111
3.3.1. Equilíbrio e Leis na Economia	111
3.3.2. Dirigismo, Individualismo, Determinismo e Previsibilidade na Economia	117
3.3.3. O Conceito de Equilíbrio Utilizado	141
3.3.4. Sobre a Variável Investimento	146
3.3.5. Modelos versus Realidade Econômica	149
3.3.6. Modelo Presa - Predador	151
3.3.7. Modelo Empírico Macroeconômico - O Caso Brasileiro	166

3.3.8. A Equação de Diferenças Logística na Interpretação do Comportamento do PIB/Estoque de Capital	180
4. Resultados e Discussões	194
4.1. O Modelo Presa-Predador Discretizado no Tempo	194
4.2. O Modelo Empírico-Descritivo Macroeconômico - o Caso Brasileiro	207
4.3. O passado revisitado - uma análise <i>ex-post</i> da demanda de energia	213
5. Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos	220
Bibliografia	229
Apêndice A - O modelo de ciclos econômicos de Michal Kalecki	240
Apêndice B - Alguns aspectos envolvendo modelos de crescimento econômico	243
B.1. O modelo keynesiano elementar e a análise de Harrod	244
B.2. A análise de Solow: crescimento equilibrado de pleno emprego	247
B.3. As causas do crescimento econômico de longo prazo	250
B.3.1. O capital físico	251
B.3.2. A tecnologia	251
B.3.3. O capital humano	251
B.3.4. O capital público	253
B.3.5. A divisão do trabalho e a dependências entre fatores	253

## **Lista de Figuras**

FIGURA (2.1.1): Interação entre a atividade econômica e a demanda de energia	17
FIGURA (2.1.2a): Consumo de energia per capita versus renda per capita (1955)	19
FIGURA (2.1.2b): Consumo de energia per capita versus renda per capita (1979)	20
FIGURA (2.1.3): Evolução da intensidade energética para alguns países	21
FIGURA (2.1.4): Estrutura contábil da demanda de energia	24
FIGURA (2.1.5): Estrutura hierárquica do modelo de demanda de energia	25

FIGURA (2.2.1.1): Estrutura dinâmica da interação entre o mercado de bens/serviços e o mercado de ativos financeiros	45
FIGURA (2.2.2.1): Diagrama tipo dinâmica de sistemas do sistema produtivo	46
FIGURA (3.2.1.1): Problema da mecânica dos três corpos, simplificado	90
FIGURA (3.2.3.1): Pêndulo forçado no espaço de fase, para $A=0,4$	98
FIGURA (3.2.3.2): Pêndulo forçado no espaço de fase, para $A=0,5$	99
FIGURA (3.2.3.3): Pêndulo forçado no espaço de fase, para $A=0,6$	99
FIGURA (3.2.5.1): Comportamento de um fluido, em presença de obstáculo, para diversos valores do número de Reynolds	107
FIGURA (4.1.1): Diagrama SD para o sistema <i>presa-predador</i> : (CAP) e (PIB)	196

### Lista de Gráficos

GRÁFICO (2.1.1): Consumo de energia como função linear do PIB (em $10^3$ tep)	23
GRÁFICO (2.1.2.): Consumo de eletricidade como função linear do PIB(em GWh)	23
GRÁFICO (2.1.3): Previsões de consumo de eletricidade total (TWh)	32
GRÁFICO (2.1.4): Previsão do consumo total de eletricidade (TWh)	33
GRÁFICO (2.1.5): Previsão de consumo de eletricidade total (TWh)	34
GRÁFICO (2.1.6): Previsões de demanda de eletricidade em França (TWh)	35
GRÁFICO (2.1.7a): Plano de atendimento aos requisitos de eletricidade (TWh)	36
GRÁFICO (2.1.7b): Previsões de consumo de eletricidade do BEN/77(TWh)	36
GRÁFICO (2.2.2.1): Brasil - PIB E FBCF em Cz\$1000 de 1980	58
GRÁFICO (2.2.2.2): Brasil - PIB como função linear da FBCF	60
GRÁFICO (2.2.4.1): França - Índices de produção industrial	67
GRÁFICO (2.2.4.2): Brasil - comportamento oscilatório dos salários	68
GRÁFICO (2.2.4.3): Brasil - PIB em valores constantes (R\$ 1000 de 1995)	69
GRAFICO (3.3.6.1a): Presa versus predador - soluções em torno do ponto crítico (0; 0)	158

GRAFICO (3.3.6.1b): Presa-predador - soluções em torno do ponto crítico (0; 0), em função do tempo	158
GRAFICO (3.3.6.2): Sistema presa versus predador - soluções gerais	160
GRÁFICO (3.3.6.3): Sistema <i>presa-predador</i> , em função do tempo	161
GRÁFICO (3.3.6.4a): Sistema presa-predador, com condições iniciais $(x;y) = (1;0,6)$	161
GRÁFICO (3.3.6.4b): Sistema presa-predador, em função do tempo, nas condições anteriores	162
GRÁFICO (3.3.7.1): PIB e estoque de capital - Brasil	169
GRÁFICO (3.3.7.2): Relação PIB/estoque de capital - Brasil	171
GRÁFICO (3.3.7.3): Relação capital - produto (Y/K) - Brasil	176
GRÁFICO (3.3.7.4): Percentual de ocorrências nos intervalos ao redor do empírico	177
GRÁFICO (3.3.7.5): PIB histórico e empírico em $10^3$ Cruzados constantes de 1980	178
GRÁFICO (3.3.7.6): Valores históricos em função dos valores empíricos	179
GRÁFICO (3.3.7.7): Distribuição de frequências dos resíduos	179
GRÁFICO (3.3.8.1): Diagrama de bifurcação no modelo logístico discreto	181
GRÁFICO (3.3.8.2): Modelo logístico discreto para $a=1$	184
GRÁFICO (3.3.8.3): Modelo logístico discreto para $a=1,3$	185
GRÁFICO (3.3.8.4): Modelo logístico discreto para $a=3,1$	186
GRÁFICO (3.3.8.5): Modelo logístico discreto para $a=3,7$	187
GRÁFICO (3.3.8.6): Valores de $a$ para $(Y/K)_{lim} = 0,35$	189
GRÁFICO (3.3.8.7): Valores de $a$ para $(Y/K)_{lim} = 0,25$	189
GRÁFICO (3.3.8.8): Valores de $a$ para $(Y/K)_{lim} = 0,15$	190
GRÁFICO (3.3.8.9): Expoentes de Lyapunov, para a equação logística	193
GRÁFICO (4.1.1): Modelo presa-predador - PIB potencial e PIB em equilíbrio	197
GRÁFICO (4.1.2): CAP E PIB “históricos”	198
GRÁFICO (4.1.3): Depreciações “histórica” e teórica anuais do estoque de capital	202
GRÁFICO (4.1.4): PIB potencial e PIB, calculados pelo modelo presa-predador	203
GRÁFICOS (4.1.5): PIB potencial e PIB, pelo método de Heun	205
GRÁFICO (4.1.6): capacidade produtiva e produção industrial nos EUA	207

GRÁFICO (4.2.1): PIB real e a previsão dentro da faixa de 5%	209
GRÁFICO (4.2.2): Previsão do cenário A - taxas de crescimento máxima e mínima	210
GRÁFICO (4.2.3): Previsão do cenário B - taxas de crescimento máxima e mínima	211
GRÁFICO (4.2.4): Previsões de taxas de crescimento - cenário A, BIRD e oficial	212
GRÁFICO (4.3.1): Série histórica e “hipotética” de (Y/K), a partir de 1980	215
GRÁFICO (4.3.2): Consumo final de eletricidade nos setores produtivos, por unidade de produto, em MWh/Cz\$1000 constantes de 1980	218
GRÁFICO (4.3.3): Consumo de eletricidade no setor residencial (KWh/habitante)	218

## Lista de Tabelas

TABELA (2.1.1a) Brasil - Previsões de consumo de energia elétrica total (TWh)	32
TABELA (2.1.2) Brasil - Previsão consumo total eletricidade (TWh)	32
TABELA (2.1.3) São Paulo - previsão de consumo de eletricidade total (TWh)	33
TABELA (2.1.4) França - previsões de demanda de eletricidade (TWh)	34
TABELA (2.1.5a) - Plano de atendimento aos requisitos de energia elétrica até 1995 (set/1979) - Eletrobrás/MME (TWh)	35
TABELA (2.1.5b) - Previsões de consumo de energia elétrica do BEN (TWh)	36
TABELA (2.2.2.1): Modelo do princípio da aceleração	49
TABELA (2.2.2.2): Brasil - PIB e FBCF em Cz\$1000 constantes de 1980	59
TABELA (2.2.4.1): Brasil: taxas de crescimento reais do PIB (%)	71
TABELA (3.3.2.1): Investimento bruto corrente como percentagem do PIB	132
TABELA (3.3.7.1): PIB, investimento bruto, estoque de capital e relação PIB/K	168
TABELA (3.3.7.2): Relação capital/PIB, para alguns países	172
TABELA (3.3.7.3): Número de ocorrências nos intervalos ao redor do empírico	177
TABELA (3.3.8.1): Comportamento da função X(t) em função de a	183

TABELA (3.3.8.2): Relação produto/capital no Brasil, em Cz\$ ctes de 1980	188
TABELA (4.1.1): Comparação entre o “histórico” e modelo presa-predador	201
TABELA (4.2.1): Resultados do modelo do cenário A	209
TABELA(4.2.2): Resultados do modelo do cenário B	210
TABELA (4.2.3): Previsões de taxas de crescimento - cenário A, BIRD e oficial	212
TABELA (4.3.1): Valores hipotéticos, para simulação <i>ex-post</i>	216
TABELA (4.3.2): Previsões demanda eletricidade MEDEE (txa cresc. PIB a 6% a.a.)	217
TABELA (B.1.1): Valores de equilíbrio ( $c$ ; $\beta$ ), com diferentes aproximações, para uma variação da renda ( $\Delta Y/Y$ ) constante	245

# Capítulo 1.

## Introdução

*“Truth is too complicated to allow anything but approximations”  
John Von Neumann*

A capacidade de fazer previsões faz parte do arsenal de sobrevivência de todo ser vivo e tem garantido em maior ou menor grau o sucesso ou não das espécies, tanto dos predadores quanto das caças. É fácil imaginar a enorme vantagem que qualquer um desses seres, especialmente o homem, teria em relação aos seus concorrentes, se pudesse não apenas antecipar a seqüência, mas conhecer também a dinâmica regente dos eventos, que afeta seu dia-a-dia. É compreensível, portanto, a grande popularidade do Oráculo de Delfos na antiguidade, quanto outros, que sempre pontilharam a história da humanidade.

O homem tem tido um razoável sucesso nessa empreitada, principalmente em relação aos fenômenos dinâmicos submetidos às forças e leis da natureza. Assim, prever intuitivamente a trajetória de sua flecha até descrever a dinâmica de uma partícula subatômica através da função de onda de Schrödinger da Mecânica Quântica, passando pelas equações de Maxwell do Eletromagnetismo e das equações de Hamilton-Jacobi da Mecânica Clássica, representou um assombroso e longo processo de reflexão e aprendizado. Nesse particular, cabe a citação devida a Richard Dawkins, em *Unweaving the Rainbow - Science, Delusion and the Appetite for Wonder*, [LEITE, (13/12/98)]:

*“[...] ao considerar a hipótese de que a capacidade de lançar projéteis, pela infinidade de cálculos balísticos envolvidos, esteja na origem do que hoje se considera propriamente humano.”*

Entretanto, fatos regidos pela Natureza não podem, geralmente, ser descritos, exceto por aproximações grosseiras, determinísticamente e de forma analítica, dada a complexidade das relações, em geral não lineares, vinculando as variáveis participantes desses processos. Mesmo eventos macroscópicos, como a descrição de fenômenos atmosféricos como o “El Niño”, ou mais

a longo prazo, o efeito estufa associado à emissão de gases, embora passíveis de serem equacionadas segundo a mecânica clássica *newtoniana* estão longe, ainda de terem suas dinâmicas desvendadas e ocupam um considerável esforço dos cientistas, em função da gravidade das possíveis conseqüências. Fenômenos atmosféricos estão associados à dinâmica dos fluidos, cujos efeitos decorrentes de sua complexidade, apresentam pontos em comum com outros sistemas complexos, inclusive com sistemas vivos, tanto nos comportamentos conhecidos como “lamelar” estacionário, quanto no “turbulento”, comportamentos esses associados aos números de Reynolds elevados. Essas analogias serão objeto de atenção deste trabalho.

Infinidamente mais complexos que os sistemas ditados por mecanismos naturais são aqueles, nos quais os integrantes ou atores interagem mutuamente, de modo não constante no tempo, podendo tal interação variar, tanto na forma, quanto na intensidade. Os eventos ditos naturais, embora complexos, envolvendo muitas variáveis e diferentes forças, podem em princípio ser equacionados, segundo paradigmas mecanicistas. Entretanto, não se pode utilizar tratamento idêntico, em se tratando da descrição de sistemas, nos quais as variáveis têm sua evolução dinâmica condicionadas pelo ser humano, cujo comportamento, às vezes individualista e intempestivo, outras, equilibrado e previsível, é o elemento fundamental na estruturação de sistemas sócio-econômicos.

A previsão da demanda de energia, foco inicial da preocupação deste trabalho, apresenta características multidisciplinares em cada um dos aspectos abordados: história, filosofia, sociologia, psicologia social, economia e ciências da natureza, como se tentará mostrar. Apesar deste trabalho ter uma forte componente de macroeconomia, esse aspecto *não será* abordado da forma habitual, similares aos trabalhos tradicionais dessa área e, sim, através de três aproximações, correspondentes, respectivamente, às seções (3.3.6), (3.3.7) e (3.3.8), cada uma das quais procurando interpretar diferentes visões da dinâmica não linear do sistema econômico.

A abordagem clássica para explicar o comportamento de sistemas sociais, segundo Godet [PUISEUX, (1972)], se baseia na analogia com as ciências naturais, ou seja, a incerteza ou a imprevisibilidade das relações é vista como algo extrínseco, provenientes em última análise da

incapacidade do observador de mensurar e descrever adequadamente as variáveis ou são resultantes de fatores aleatórios exógenos ao sistema. Consiste, fundamentalmente, na adoção de relações dinâmicas pré-determinadas, entre as variáveis descritoras de um sistema, seja ele natural, ou mesmo social. Sistemas *estritamente determinísticos* ou causais são aqueles baseados em regras bem definidas que associam, num determinado instante de tempo, valores unívocos às variáveis que descrevem o sistema, a partir do conhecimento dessas mesmas variáveis em instantes anteriores, ou seja, existe uma relação de *causa e efeito* entre estados adjacentes no tempo. Hegel, em [FUKS S., (1995)] dá um exemplo dessa corrente de pensamento, ao afirmar:

*“ os homens pensam que dirigem o destino de acordo com suas ambições e paixões, no fundo a astúcia da história consiste em criar neles esta ilusão, para concretizar o espírito absoluto.”*

Outra característica fundamental, que diferencia os sistemas sócio-econômicos dos outros sistemas biológicos, complicando sua descrição, é aquela apontada por Keynes, concernente à influência do futuro “esperado” (expectativas), sobre as decisões presentes, num fenômeno de *retroalimentação futura*, quase que uma espécie de “violação” do princípio da *causalidade*, fazendo um paralelo com um fenômeno da física. Esse aspecto será discutido no decorrer deste trabalho.

A corrente adversa ao *determinismo*, principalmente em se tratando de sistemas não naturais, não reconhece o processo decorrente, isto é, fatos presentes dependerem da ocorrência de fatos passados, como um fator preponderante nos fenômenos dinâmicos, imputando à aleatoriedade, a causação dos acontecimentos. Como exemplos dessa linha de pensamento, pode-se citar, por exemplo, Ludwig Wittgenstein [WITTGENSTEIN, (1985)]:

*“Não podemos inferir os acontecimentos futuros dos acontecimentos presentes. A crença no nexos causal é a superstição.”*

e Louis Puiseux [PUISEUX, (1972)].

*“En Économie, la prévision est à la fois impossible et indispensable, impossible car l’histoire des hommes ne se répète jamais... Il n’y a pas, il ne peut pas y avoir de méthodes scientifiques pour dévoiler l’avenir”.*

No entanto, segundo a citação acima e as razões expostas no primeiro parágrafo, previsões são indispensáveis e esse tatear cego sobre o futuro, torna-se por vezes uma tarefa frustrante e ingrata, porém necessária.

Dentro do novo quadro institucional desenhado para o setor energético, no qual o papel do empresário privado ganha relevância, as previsões de demanda de energia adquirem uma objetividade diversa daquela tradicionalmente exigida pelo aparato estatal, notadamente no que se refere ao horizonte de interesse. O planejamento energético até então, principalmente no que se referia à expansão da oferta de energia hidroelétrica, ocorria num ritmo e dimensão compatíveis com os prazos envolvidos nesses projetos, ou seja, num horizonte de cinco a dez anos. No novo esquema institucional e com o aumento da oferta de gás natural, é de se esperar uma importância crescente de empreendimentos termoelétricos, cujo prazo típico de construção e operação comercial é da ordem de dois anos, mudando o enfoque temporal das previsões de demanda de energia. Oscilações econômicas de curto prazo podem influir criticamente, sobre a pertinência e a conveniência de tais projetos, neste novo contexto, apressando-os ou simplesmente relegando-os ao ostracismo. Essas oscilações, não são, em geral, consideradas nos modelos macroeconômicos brasileiros, pelas suas características “determinísticas” e pouco estudadas, traduzidas matematicamente, pela sua aparente dependência explícita do tempo. Serão mostrados no Capítulo 2.1, resultados de previsões de demanda de energia elétrica, prospectados duas décadas atrás, dos quais o autor da presente tese participou como co-autor. A grande fragilidade percebida da utilização de tais modelos prospectivos foi, fundamentalmente, quanto à avaliação da atividade econômica, principal determinante da demanda de energia, cuja principal consequência foi uma superestimação do consumo energético, em relação ao efetivamente realizado. Os gráficos (2.1.1) e (2.1.2), apresentados no capítulo 2, mostram para o caso brasileiro, a visível correlação existente entre o consumo de energia e o PIB, sendo que os dados de consumo real, se referem à eletricidade e aos derivados de petróleo, somados ao gás natural. Essa correlação é também

observada para a grande maioria dos países, como pode ser constatado pelas figuras (2.1.2a) e (2.1.2b).

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma metodologia, que permita a avaliação prospectiva de curto prazo da demanda de energia associada à atividade econômica, considerando as oscilações, conhecidas como *ciclos de negócio*. Para tal, discute-se, inicialmente, algumas previsões realizadas no passado e as respectivas aderências à realidade, procurando estabelecer as causas das discrepâncias observadas. Estas, como serão discutidas adiante, têm sua origem nas falhas cometidas na avaliação prospectiva da atividade econômica, utilizada naquelas previsões de demanda energética. Discute-se os fundamentos dos processos sócio-econômicos, na tentativa de identificar, na economia, as características “naturais”, que permitiriam, eventualmente a utilização de métodos matemáticos, em sua descrição dinâmica. Procurou-se evitar um determinado tipo de *reducionismo*, explicado no decorrer do trabalho, muito comum no formalismo usualmente utilizado nos trabalhos de macroeconomia. Este *reducionismo* está diretamente ligado à dificuldade atual de se descrever adequadamente, não apenas do ponto de vista teórico, os mecanismos determinantes da evolução econômica, especificamente, os processos de como se efetiva, através do *investimento*, o acúmulo das variadas formas de capital, que é discutido brevemente no Apêndice B. Portanto, uma grande parcela deste trabalho é dedicada à justificativa de se evitar a abordagem através de qualquer “modelo” ou “teoria” do *investimento*, mas buscar nas ciências naturais, possíveis semelhanças e analogias, que possibilitariam a aplicação de métodos utilizados nestas, em alguns aspectos do sistema sócio-econômico.

*Reducionismo*, segundo a definição de [KURZ R., (10/1999)], é a “*transformação de objetos e formas de ordem superior em “combinações” de objetos e formas de ordem inferior.*” É a aplicação da famosa “*navalha de Ockham*”<sup>1</sup>, segundo o princípio de que “*não há porquê se multiplicar desnecessariamente as entidades.*” [GLEISER M., (1997)]. A interpretação e a aplicação deste princípio pode se dar sob dois enfoques:

---

<sup>1</sup> William de Ockham, filósofo inglês do século XIV.

- a.) Redução do número de entidades ou variáveis do problema.
- b.) Redução ou simplificação da interação entre as entidades.

O pesquisador dos fenômenos dinâmicos da macroeconomia, analogamente ao que acontece em outras disciplinas, se vale, geralmente, dessas aproximações *reducionistas*, para compreender o resultado coletivo final, conseqüência dos movimentos e das relações inter-individuais. Para tanto, é obrigado a aplicar a *navalha de Ockham*, nos dois aspectos mencionados e, é importante frisar, não apenas *reduzindo* a natureza da interação entre os componentes, mas também, *restringindo e simplificando* inadequadamente esta interação, nas respectivas adjacências. Assim procedendo, perde-se, inevitavelmente, o tele-enfoque do problema e a visão do conjunto ou, como geralmente acontece, deixa de considerar importantes fenômenos coletivos, gerados pelo processo integral. Isto ocorre, por exemplo, em relação à variável *investimento*, cujo mecanismo é o pivô central da *dinâmica de crescimento* e, ainda, objeto de extensos tratados e pesquisas de vanguarda, relacionando outros fatores identificados como responsáveis pelo desenvolvimento econômico. Na tentativa de oferecer uma abordagem alternativa a este problema, procurar-se-á, neste trabalho, focar os fenômenos macroeconômicos, à distância, através de um “binóculo ao contrário”, ou seja, buscando as causas dos “movimentos”, num um horizonte espacio-temporal, mais remoto, a “boa distância”, no sentido utilizado por Lévi-Strauss<sup>2</sup>, em *Anthropologie Structurale*. Isto, não tanto por acreditar que o primeiro enfoque, como conseqüência do restrito campo de visão, possa abrigar certos encadeamentos tautológicos na descrição desses fenômenos, como será mostrado na seção (2.2.2), mas, principalmente, por acreditar que a utilização de instrumentos e métodos de outras disciplinas *naturais*, como a mecânica dos fluidos e a biologia matemática, podem enriquecer o grau de compreensão desses processos e, também, oferecer uma explicação teórica, sob uma ótica diversa da tradicional.

O estudo da dinâmica do sistema econômico apresenta alguns pontos em comum, ao menos nas dificuldades, com o estudo de outros sistemas vivos organizados e sistemas físicos. Em relação a estes últimos, vem de imediato, o conhecido *problema de muitos corpos*, cuja

origem se encontra na mecânica clássica *newtoniana* e conserva as características fundamentais em outras escalas. Como o nome sugere, ele se refere ao problema de muitos corpos em mútua interação, sejam eles galáxias ou microscópicas partículas elementares, associado ou não aos fenômenos quântico-relativísticos. A sociedade, enquanto *sistema*, pode também, em muitos aspectos, que serão abordados no decorrer deste trabalho, ser representada como um conjunto aberto ou fechado, formado por muitos agentes, os quais participam de forma ativa e passiva e, na maioria das vezes, *de maneira pré-estabelecida*, produzindo e consumindo bens e serviços e suas variáveis agregadas poderiam, em princípio, ter a sua dinâmica representada matematicamente. Entretanto, é oportuna a citação de [HEILBRONER R., p.288, (1996)]:

*“A previsão é algo difícil o bastante em quase todas as ciências. (...) No mundo social não encontramos um cenário no qual as coisas possam ocorrer livres de forças estranhas. A sociedade, que é para o observador social o equivalente do universo, vive sendo constantemente abalada ou perturbada, às vezes, pela incursão da própria natureza, porém mais comumente, pelo fato de que os planetas e átomos da sociedade - suas instituições e indivíduos - têm o incômodo hábito de se assenhorearem dos assuntos e agir de maneiras que não têm correspondentes no “comportamento” de planetas e átomos reais. (...) Assim, os grandes economistas são previsores em termos gerais e não profetas em termos específicos. Com esta distinção queremos dizer que eles sabem que são capazes de discernir tendências na sociedade, porque há regularidades de comportamento, nas quais um teórico social pode confiar.”*

Mesmo na mecânica clássica, o tratamento tradicional para o *problema de muitos corpos* é extremamente simplista, geralmente abordada sob a ótica, também *reducionista*. Na física atômica e nuclear de baixa energia, por exemplo, no qual autor teve algumas contribuições na década de setenta [KAMIMURA A., (1973), (1974), (1976), (1978)], esse problema se traduz na procura de soluções da equação de Schrödinger da mecânica quântica não relativística, para muitas partículas em mútua interação. A aproximação usual, no caso nuclear, é através da substituição da complexa interação existente entre os núcleons componentes do núcleo, por um potencial médio efetivo central, de tal forma que o problema básico se assemelha ao problema clássico coulombiano do átomo de hidrogênio, com muitos elétrons independentes. A partir dessa estrutura básica, permite-se a interação entre os elementos, mas raramente além do esquema dois

---

<sup>2</sup> Em [CALABRESE O., p.16, (1987)].

a dois. O preço a pagar ao se simplificar o problema dessa maneira é a perda, sem dúvida, de alguns fenômenos *coletivos*, originários de interações de outras ordens, ou mesmo, que não podem ser explicados através desse processo *reducionista*. Isto ocorre, por exemplo, com um modelo semelhante ao descrito, desenvolvido por Lev Landau, para explicar a turbulência dos fluidos, a ser discutido na seção (3.2.5).

A finalidade principal desses modelos atômicos e nucleares é explicar a dinâmica desses sistemas, principalmente os fenômenos associados ao comportamento de partícula independente e coletivos, traduzidos em níveis de energia observáveis experimentalmente. Os principais resultado dos modelos acima referenciados são:

- Alguns tipos de núcleos em estados de baixa energia, próximos ao estado fundamental, apresentam níveis de energia de partícula independente, ou seja, modelos *reducionistas* do tipo *Hartree-Fock*, nos quais as partículas são supostas em um potencial central, podem ser utilizados como razoáveis representações teóricas.
- À medida em que esses núcleos se direcionam para estados mais “excitados”, ou usando-se a linguagem da hidrodinâmica, para *números de Reynolds* mais elevados, o modelo de partícula independente necessita ser enriquecido, em geral através da introdução de interação entre pares de núcleons. Dessa forma, alguns níveis de energia, provenientes de estados coletivos, podem ser obtidos teoricamente.
- Entretanto, níveis de energia associados a estados cada vez mais “excitados”, como oscilações fortemente coletivas, não podem ser representados dessa maneira, necessitando uma intervenção mais drástica em termos de representação teórica, abandonando-se o modelo de “partículas independentes”, para, por exemplo, um modelo do tipo “pudim de ameixas”.

Assim, este trabalho não deixa de ser uma retomada do mesmo problema em sua essência e uma continuação metodológica daqueles trabalhos realizados na década de setenta, mudando-se, entretanto, o sistema a ser analisado, que deixa de ser inanimado, sob uma ótica menos *reducionista e microscópica*.

Como decorrência dessa discussão, é proposto na seção (3.3.6) um modelo teórico simplificado, procurando descrever a dinâmica de um tipo de fenômeno cíclico macroeconômico, uma vez que a realidade contém, além de outros tipos de flutuações, um comportamento de longo prazo, cuja explicação fundamental, ainda está por acontecer. O modelo teórico, aqui proposto foi realizado, através de um esquema baseado em trabalhos da área da biologia matemática, o famoso problema da *presa-predador*, representado por um sistema de equações diferenciais não lineares. Demonstra-se através desse modelo simplificado, que os *ciclos de negócio* poderiam ser, ao menos parcialmente, representados por soluções oscilatórias, em torno de pontos críticos de equilíbrio, cujos períodos dependem, essencialmente, do *investimento* efetuado anualmente na economia e, não de choques eventuais exógenos. O mecanismo *de como se dá* este investimento é intencionalmente evitado, pelas razões expostas anteriormente, através da hipótese, a ser justificada no decorrer do trabalho, da “inevitabilidade” do crescimento do *estoque de capital*. Esse modelo, assim representado, fornece uma indicação de que as flutuações econômicas são a regra e não a exceção e que a solução de equilíbrio estacionário não oscilatório é um caso muito particular do sistema econômico, difícil de ser mantido.

Em seguida, na seção (3.3.7) é proposto um modelo empírico mais aderente aos dados históricos, com o qual se pode fazer alguma inferência prospectiva de curto prazo, do comportamento dinâmico da macroeconomia. Esse modelo empírico é construído, assumindo-se que existe a possibilidade, *ao menos teoricamente*, de dividir o estoque de capital da economia em duas partes  $k^o$  e  $k$ , tal que o estoque total seja:

$$K = k^o + k$$

Nessa equação  $k^o$  representa a parte do estoque de capital responsável pelo comportamento de longo prazo do PIB - produto interno bruto - análogo, nesse aspecto, ao modelo de crescimento de R. Solow [ABRAHAM-FROIS, p.29, (1995)] e enquanto que  $k$  responde pelo comportamento oscilatório da produção, principal fenômeno a ser analisado, em conformidade com os objetivos deste trabalho. A partir dessa abordagem empírica se apresenta uma análise prospectiva e retrospectiva da evolução do PIB associada ao consumo de

eletricidade no Brasil, na qual são feitas comparações com previsões efetuadas pelo autor, no final da década de setenta.

Uma abordagem sob a ótica da *teoria do caos*, mais especificamente, de modelos matemáticos de crescimento baseados na equação de diferenças logística, também é ensaiada, na seção (3.3.8) e que foi sugerida pelo encaminhamento e fatos, que emergiram durante este trabalho. Um resultado interessante surgido desse enfoque foi a constatação de que o comportamento da série histórica *PIB/estoque de capital*, traduzida em termos de uma série de diferenças logística, implicaria na tendência do parâmetro  $a$  da série buscar a unidade ( $a \rightarrow 1$ ), ou seja, a série tenderia para um valor de equilíbrio igual a zero, perigoso para a sobrevivência do sistema, pois significaria uma eficiência do capital, decrescente. Isto ocorre em virtude, tanto da estrutura de produção do país, quanto da forma como se dá essa produção de bens e serviços. A menos que se mude, tanto a configuração estrutural, quanto as taxas de crescimento do PIB, de tal forma que se atinja outro ponto de equilíbrio do modelo ( $a > 1$ ), a perspectiva de inanição do sistema no longo prazo parece bastante previsível. Aliás, nesse sentido, advertências já foram feitas anteriormente, por vários economistas da conhecida corrente *estruturalista*, dentre os quais podemos destacar Celso Furtado [FURTADO, (1974)].

O rigorismo científico foi por vezes laxado, no decorrer desta tese, em função da complexidade e da inexistência, ainda de um consenso e um modelo teórico unificado, principalmente, no tocante aos fenômenos macroeconômicos. No congresso realizado em 1988, no *Santa Fe Institute*<sup>3</sup>, Novo México, cujo tema foi *The Economy As An Evolving Complex System* [ANDERSON P., ARROW K., PINES D., p.250, (1988)], ocorreu o seguinte diálogo, entre seus participantes:

*Philip Anderson: Nós precisamos de uma teoria do desenvolvimento que, como foi visto, não a temos, ainda. Nós precisamos ser capazes de explicar como os países crescem e como eles interagem dinamicamente.*

*Michele Boldrin: (Existe) a distinção entre crescimento (quantidades crescentes dentro de uma dada ordem econômica) e desenvolvimento/evolução (mudanças qualitativas na estrutura econômica). Nós temos algumas teorias decentes para o primeiro fenômeno, mas nenhuma para o segundo(...).*

---

<sup>3</sup> Fundado em 1984 para a pesquisa na área da ciência da complexidade e nas áreas multidisciplinares.

*Larry Summers: (...)O problema é que a inovação tecnológica é a “driving force” e não temos uma explicação econômica para os seus determinantes, ao menos no nível macroeconômico. Em particular, não há análises formais dos fenômenos de formação de padrões, crescimentos desiguais, ciclos viciosos versus ciclos virtuosos no desenvolvimento de economias nacionais, etc. Existe uma tradição verbal, baseada principalmente em evidências históricas, mas não uma teoria.*

Nessa mesma referência, na página 247, na qual Kenneth Arrow faz um resumo dos trabalhos sobre as flutuações econômicas, a conclusão foi que, embora haja um grande esforço no sentido de se explicar os ciclos econômicos, seja através de modelos estocásticos determinísticos, seja em termos de dinâmica não linear, este campo permanece em aberto. Em suas palavras: “(...) *But it must be admitted that a really convincing model has not been obtained.*”

No Apêndice B são apresentados alguns aspectos de modelos de crescimento, abordando tanto a visão “tradicional”, quanto os chamados “novos” determinantes do crescimento, tais como as *inovações tecnológicas e capital humano*.

O tratamento “científico” do sistema econômico é polêmico, haja vista a impossibilidade de se criar, limitar e controlar condições, ou isolar determinados efeitos indesejáveis para tais sistemas. Dessa maneira, torna-se praticamente impossível a obtenção de “*provas*” comprobatórias de uma dada teoria econômica, de forma análoga ao que se usualmente é permitido fazer no campo da física experimental. Por exemplo, apesar da impossibilidade de eliminação total do *atrito* em fenômenos mecânicos, a *lei da inércia* de Newton pode ser comprovada em laboratório, no qual aquele efeito pode ser variado de maneira controlada, permitindo o estabelecimento de limites e circunstâncias, nos quais se pode aplicar a referida lei. Além disso, o mais importante aspecto metodológico da física é o da *repetibilidade* de qualquer experiência, sem o qual não se pode validar nenhuma hipótese teórica. Por esse motivo, sob o ponto de vista epistemológico, hipóteses econômicas não são *falseáveis*, ou seja, não permitem a determinação das condições e circunstâncias, nas quais se deve abandonar uma particular teoria [POPPER, (1995)]. A conhecida condição utilizada *ad nauseam* pelos economistas teóricos - *coeteris paribus* - não passa de uma figura de retórica, uma vez que tal condição é irreprodutível na realidade. Por paradoxal e contraditório que possa parecer, uma dada teoria só poderá ser

aceita sem reservas, quando puder ser negada em algumas situações ou condições, estabelecendo assim, seus limites de validade. Dessa maneira, a tarefa e o destino do pesquisador da área sócio-econômica será, na maioria das vezes, a de coletar “*evidências*” e dificilmente lhe será permitido obter “*provas*” da validade ou veracidade de uma nova hipótese. Uma vez que o conceito de *falseabilidade* desempenha um papel importante neste trabalho, vale exemplificá-lo de forma até ingênua, no intuito de esclarecer melhor esse ponto. Considere-se um indivíduo possuidor de várias armas, todas perfeitamente legalizadas e registradas na polícia, mas que acaba cometendo um crime com um revólver ilegal e clandestino. A hipótese de uma defesa baseada, exclusivamente nas armas legais é uma hipótese *não falseável*, podendo se constituir numa *evidência*, mas jamais numa *prova* de inocência, por maior que seja o número de armas legais que o acusado apresente. Segundo Feyerabend, em [OLIVA, pp. 24-26, (1995)], a testagem de uma teoria não tem como ser confinada ao confronto entre o que ela sustenta e os fatos que lhe são pertinentes, impossibilitando assim sua avaliação crítica. São necessários o desvelamento de outros “nichos fatuais”, só acessíveis através da criação de teorias alternativas a que se está propondo. Do ponto de vista epistemológico, fatos capazes de avaliar criticamente, ou seja, de refutar uma teoria, somente são, em muitos casos, metodologicamente identificados, com o auxílio dessas teorias alternativas, que não se restringem ao campo do conteúdo que veicula e que extrapolam aos “fatos” subsistentes ao âmbito de sua moldura explicativa, ao que Feyerabend chama de *alteridades*. Nesse sentido, um dos objetivos dessa tese será a apresentação de uma *alteridade*, ou seja, uma proposta alternativa de uma moldura explicativa aos *ciclos de negócio* na economia, evitando o enfoque tradicionalmente utilizado nesses estudos.

Como uma decorrência natural do modelo empírico aqui proposto, surge um instrumento de análise e previsão do PIB, que pode ser facilmente utilizado pelos profissionais de planejamento energético, como uma alternativa ao “chute” pouco educado, ou aos complicados modelos macroeconômicos. Tais modelos, além da sua costumeira pouca disponibilidade e dependerem de muitas séries históricas, nem sempre confiáveis, embutem, em geral, um exagerado otimismo, em virtude do ambiente institucional em que são engendrados. Por outro lado, por mais coerentes e razoáveis que sejam as hipóteses assumidas nesses modelos, os

resultados em geral, deixam muito a desejar, como já dizia Robert Solow, em [GUELLEC, p.24, (1996)]: “*Les ordinateurs sont partout (...), sauf dans les statistiques de PIB.*”

Torna-se obrigatório salientar que a presente tese, em função do enfoque multi e interdisciplinar, envolvendo conceitos dos campos da filosofia, sociologia, economia e ciências naturais, *não* apresenta uma profundidade desejável, em todas essas matérias, por razões óbvias. *Ipsa facto*, esta possa talvez, representar uma modesta contribuição, como elemento de comunicação no insidioso e movediço terreno da interdisciplinaridade, que conforme [MORIN E., (1996)]: “*(...) os domínios do conhecimento, pela organização universitária-disciplinar do saber, se encontram disjuntos e não comunicantes.*” Há, portanto, necessidade de se redobrar as precauções conceituais, respeitando as bases epistemológicas já estabelecidas e fundamentadas em cada disciplina, mas é impossível negar e ignorar tanto a existência de zonas “cinzentas”, quanto a possibilidade de utilização de métodos de uma dada disciplina em outras. Existe no compêndio popular, o dito de que é inútil procurar em águas transparentes o anel perdido em águas turvas, como sugerem, indiretamente, os *cátaros*<sup>4</sup>, assim como será muito difícil obter-se a síntese, encastelando-se em compartimentos estanques e fortalezas disciplinares feudais e seguras. A propósito a citação de [SERRES M., p.94, (1999)]:

*“ Entre as ciências duras e as chamadas ciências humanas a passagem se assemelha a uma margem dentada, cheia de gelo e variável.(...) Antes fractal do que realmente simples. Menos uma junção dominada do que uma aventura a se correr. Trata-se de um espaço estranhamente desprovido de pesquisadores.”*

O economista Celso Furtado, em seu artigo *O futuro da economia*<sup>5</sup> emite sua opinião sobre o que chama de “problemática complexa da interdisciplinaridade, no campo das ciências sociais”. Alguns trechos do artigo:

*“Em seu livro mais recente, Sen pretende voar muito mais alto, pois aborda o complexo problema da ruptura epistemológica entre ciência econômica convencional, que evolui mais e mais para uma engenharia social, e o sistema de valores, cujo substrato é a ética.”*

---

<sup>4</sup> Seita maniqueísta da Idade Média (séc.XI - XIII), que preconiza uma pureza absoluta de comportamento, em [SERRES M., p.8, op.cit.]

<sup>5</sup> Comentando o livro *Sobre Ética e Economia* de Amartya Sen, premio Nobel de economia em 1998, ed.Cia das Letras, (1999), em [Folha de São Paulo, 13/11/1999].

E, citando Sen, concernente à utilização de métodos ligados às ciências físicas:

*“Eu gostaria de afirmar que as questões profundas suscitadas pela concepção de motivação e realização social relacionada à ética precisam encontrar um lugar de importância na economia moderna, mas ao mesmo tempo é impossível negar que a abordagem da engenharia também tem muito a oferecer à economia.”*

Prosseguindo:

*“Este livro do grande economista indiano, dublê de filósofo, nos leva a antever o caráter interdisciplinar, no enfoque dos problemas sociais, que prevalecerá no século que desponta. A idéia de uma ciência econômica “pura” será vista como um anacronismo. No caso da economia, essa interdisciplinaridade se apresenta como ampliação de seu marco epistemológico, deixando de ser uma racionalização da visão do mundo engendrada pelas estruturas tradicionais de poder.”*

Existirão, certamente, muitas objeções pertinentes e fundamentadas sobre este trabalho e dentre as críticas, que compreensivelmente serão levantadas, estarão as excessivas comparações e analogias, substanciadas em livres associações ou mesmo aproximações arbitrárias entre diferentes conceitos. Este é um risco real ao se trilhar as zonas cinzentas, os espaços que se situam entre as coisas já observadas ou espaços de interferência, semelhantemente à figura de *Hermes, o operador de aproximação*, de [SERRES M., p.85, op.cit.]: *“...estabelecendo conexões, com o objetivo de esclarecer de maneira decisiva os textos, por meio de comparações...”*. Esse procedimento, segundo a mesma referência, provocam os seguintes comentários:

*“Quando a apreciam, dizem: Serres efetua comparações inesperadas, muito iluminadoras; quando a execram dizem: Serres faz mais uma vez associação livre.”*

Mais adiante, na página 90, sobre o uso da metáfora, como método de aproximação:

*“Metáfora significa justamente transporte. Esse é o método de Hermes: ele exporta e importa, portanto atravessa; ele inventa e pode se enganar, devido à analogia; perigosa e mesmo, a rigor, proibida, não se conhece, contudo, outra via de invenção.”*

Outra crítica, não menos pertinente, é em relação à velocidade e liberdade, com que determinados tópicos são tratados e comparados, como ocorre com freqüência, nas seções (2.2.2)

e (3.3.2). Neste particular, é interessante registrar a resposta de Michel Serres a Bruno Latour, que o critica pela excessiva rapidez e liberdade de deslocamento entre pensamentos: “*Vemos aqui e ali passos sobre a neve, mas não vemos o traço que os liga.*” Responde Serres (p.62, op.cit.):

*“Nas disciplinas comparatistas, encontramos-nos em Roma, na época arcaica, e depois na Irlanda e no país de Gales, em seguida, sem que se grite, cuidado!, na Índica védica. Você perguntou isso a Georges Dumézil? Entre os filósofos enciclopedistas, Aristóteles, Leibniz, Auguste Comte..., está-se no meio dos animais e depois, na política, e em seguida, sem ser avisado, entre os teoremas... Você perguntou isso a Kant, que passa da astronomia ao direito e da geografia à antropologia, antes de escrever a sua crítica?”*

E mais adiante, na página 91:

*“A rapidez é a elegância do pensamento, que faz pouco caso da tolice, pesada e lenta. A inteligência pensa e diz o inesperado; ela toma como modelo a mosca, o seu vôo. Um tolo se define pela previsibilidade.”*

E, se referindo a Georges Dumézil, nas páginas 94 e 97:

*“...ele voa veloz no espaço e no tempo. O comparativismo opera por meio de curto-circuitos e, como se vê na eletricidade, eles produzem faíscas estonteantes. (...) O comparativismo e a complexidade das coisas e do tempo exigem a rapidez e um novo estilo.”*

Portanto, parece existir, hoje, o consenso de que áreas interdisciplinares envolvendo as ciências naturais e as sociais merecem ser investigadas, mesmo sob a crítica feroz, em nome do purismo metodológico e acadêmico. É oportuna a citação de Robert Kurz, concluindo este capítulo [KURZ R., (10/1999)]:

*“Para desvendar o caráter irracional da moderna racionalidade econômica e científica, os teóricos da sociedade teriam, é claro, de superar seu “analfabetismo” científico, e os cientistas, seu “analfabetismo” social. (...) O sistema dos especialistas bitolados, inflexível como é, não produzirá mais novos conhecimentos que abalarão o mundo.”*

## Capítulo 2.

### Revisão bibliográfica.

#### 2.1. RELAÇÃO ENTRE DEMANDA DE ENERGIA E ATIVIDADE ECONÔMICA.

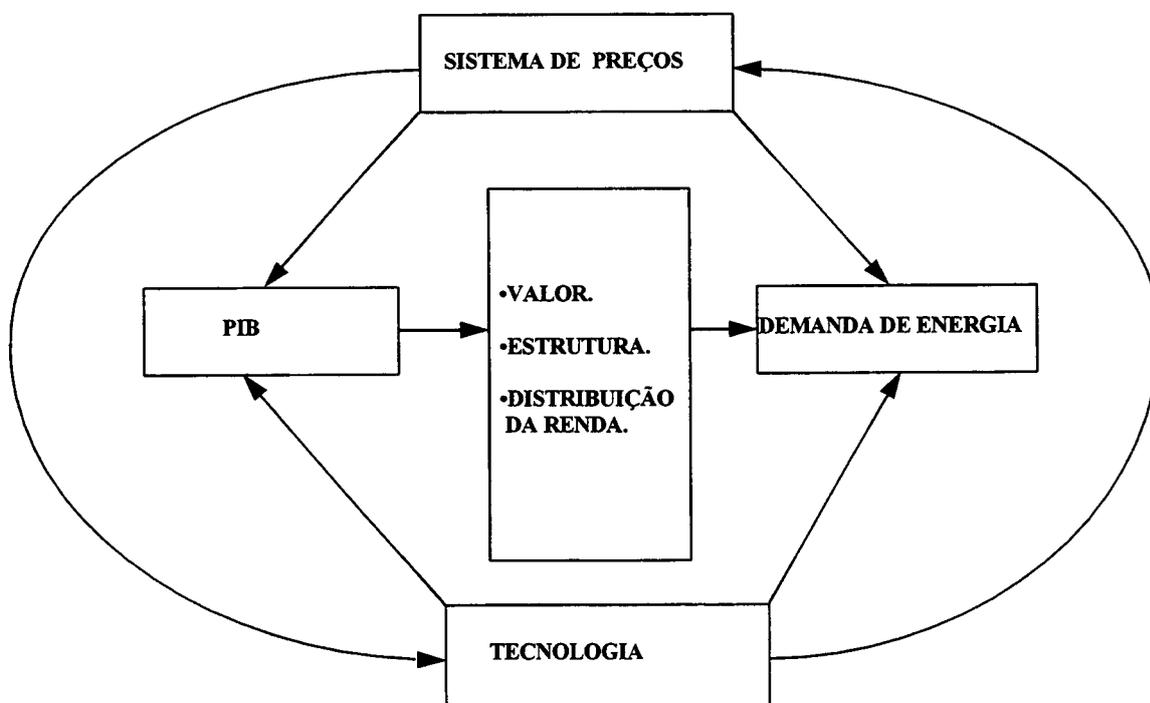
O funcionamento de uma sociedade moderna se baseia na produção e na troca de *bens* e *serviços* destinados a satisfazer a demanda da população, obtidos a partir de recursos internos e importados, de *estoque de capital* (K), de *trabalho* (L), de *energia* (E) e de *outras matérias* (M). Segundo o esquema econômico *neoclássico*<sup>1</sup>, essas grandezas de *entrada*, denominadas de *fatores de produção*, são independentes entre si e se combinam de diversas formas e diferentes proporções, a fim de produzirem a *saída* desejada, qual seja um *bem* ou um *serviço*. No *ponto de equilíbrio ótimo*, cada *fator de produção* é remunerado em base à sua *produtividade marginal* e a combinação ótima dos *fatores* é aquela que minimiza o *custo unitário de produção*. *Preços e custos* são, portanto as variáveis fundamentais no processo econômico, nesse esquema *neoclássico*. Obviamente, não existe, para um dado país, num dado instante, uma gama infinita de escolhas possíveis entre tais *fatores*. Isso vai depender da tecnologia existente e da disponibilidade do conhecimento científico, da engenharia e dos equipamentos utilizados nos processos produtivos. O valor de mercado de todos os bens e serviços produzidos internamente ao país, num determinado ano é denominado de PIB – *produto interno bruto*.

É difícil imaginar qualquer atividade humana moderna, na qual a energia não desempenhe seu papel. Apesar da grande discrepância existente entre países, concernente aos consumos energéticos por habitante, é impensável conceber a *produção* e o *consumo* de uma sociedade minimamente organizada, sem os recursos da energia. A *produção* tem como resultado um *bem* ou um *serviço*, mas o *consumo* se realiza, quase sempre sob a forma de *serviço*. Um *bem*, diferentemente de um *serviço*, não precisa ser utilizado imediatamente e pode, em muitos casos, ser utilizado várias vezes. Entretanto, frequentemente, um único *bem* não é suficiente para fornecer o *serviço* demandado, mas requer o concurso de outros *bens* ou *fatores*.

A análise do sistema econômico sob a ótica energética se concentra sobre o emprego dos recursos naturais energéticos, ou seja, sobre a demanda de energia expressa em unidades físicas. É conveniente salientar que essa *demanda* é uma *demanda derivada*, uma vez que no esquema neoclássico, a *demanda* é expressa em termos de *bens e serviços*. Dentro do esquema clássico, que separa a *produção* do *consumo*, pode-se dizer que a *entrada* energética serve tanto para produzir o *bens* e os *serviços*, quanto para *utilizar* os *bens*, produzindo um *serviço*. A demanda de energia induzida pela produção de bens e serviços é considerada como uma demanda *intermediária*, enquanto que a demanda de produtos energéticos por parte dos consumidores finais é dita demanda *final* de energia.

O esquema lógico, segundo o qual se relaciona a atividade econômica, medida em PIB e a demanda de energia pode ser representado na figura (2.1.1). Como pode ser observado, a influência mais intensa sobre a demanda energética é exercida, não tanto pelo valor do PIB em si, mas também pela sua estrutura e pela distribuição da renda; igualmente importantes são o sistema de preços e a tecnologia empregada.

FIGURA (2.1.1): Interação entre a atividade econômica e a demanda de energia.



<sup>1</sup> Em [PAOLI, (1990)].

Fonte: [CHATEAU B. et al, (1977)].

Os trabalhos sobre demanda de energia anteriores a 1973, não se preocupavam em considerar o esquema da figura (2.1.1), uma vez que a correlação existente entre essa demanda (E) e o PIB (Y) era de tal forma robusta que uma simples relação do tipo:

$$E = kY^\varepsilon, \quad \text{Equação (2.1.1.a)}$$

com  $k$  e  $\varepsilon$  constantes, era suficiente para descrever satisfatoriamente a relação entre essas duas variáveis. Definindo-se a *Intensidade Energética* como sendo a relação  $I = E/Y$  e derivando-se a equação (2.1.1. a) em relação a  $Y$ , vem:

$$dE/E = \varepsilon \cdot dY/Y \quad \text{Equação (2.1.1.b)}$$

Calculando agora a diferencial de  $I$ , vem:

$$dI = dE/Y - E \cdot dY/Y^2$$

dividindo ambos os membros por  $I$ , vem:

$$dI/I = dE/E - dY/Y$$

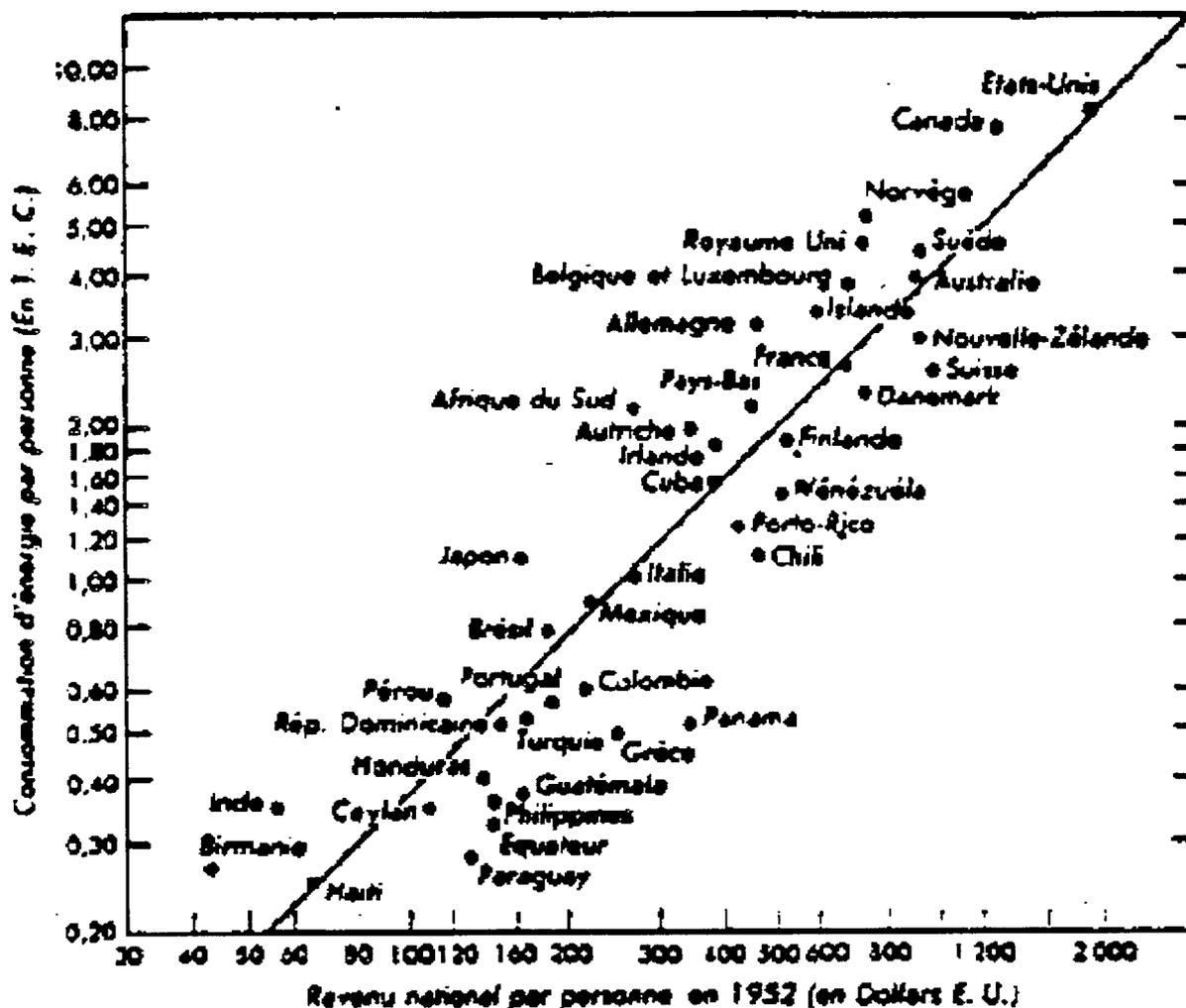
substituindo-se  $dE/E$  da equação (2.1.1.b), na equação acima, vem:

$$dI/I = (\varepsilon - 1) \cdot dY/Y \quad \text{Equação (2.1.1.c)}$$

A equação (2.1.1.c) mostra que a variação percentual da *intensidade energética*, é proporcional à variação percentual do PIB, cujo coeficiente de proporcionalidade vai ser positivo, nulo ou negativo, respectivamente para  $\varepsilon > 1$ ,  $\varepsilon = 1$  e  $\varepsilon < 1$ .

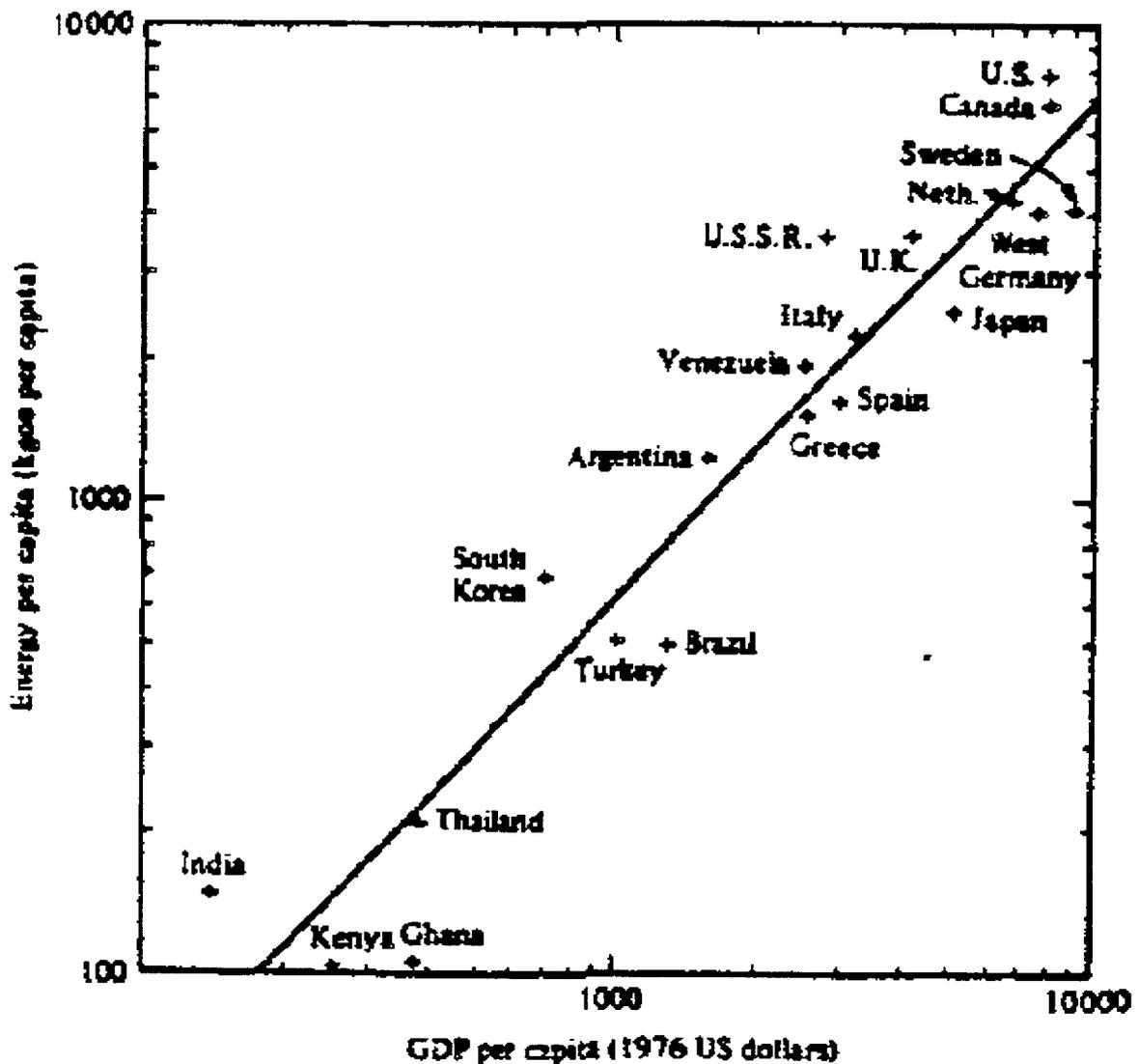
No quarto de século que precedeu o choque do petróleo de 1973, que foi um longo período de relativa estabilidade no desenvolvimento econômico e nos preços, para a maioria dos países, o confronto entre a *atividade econômica* e o *consumo de energia per capita* resultava evidente: a relação entre essas duas grandezas era de simples proporcionalidade, como pode ser observado pelas figuras (2.1.2a) e (2.1.2b), nos anos de 1955 e 1979:

FIGURA (2.1.2a): Consumo de energia per capita versus renda per capita (1955):



Fonte: [PAOLI, (1990)].

FIGURA (2.1.2b): Consumo de energia per capita versus renda per capita (1979):

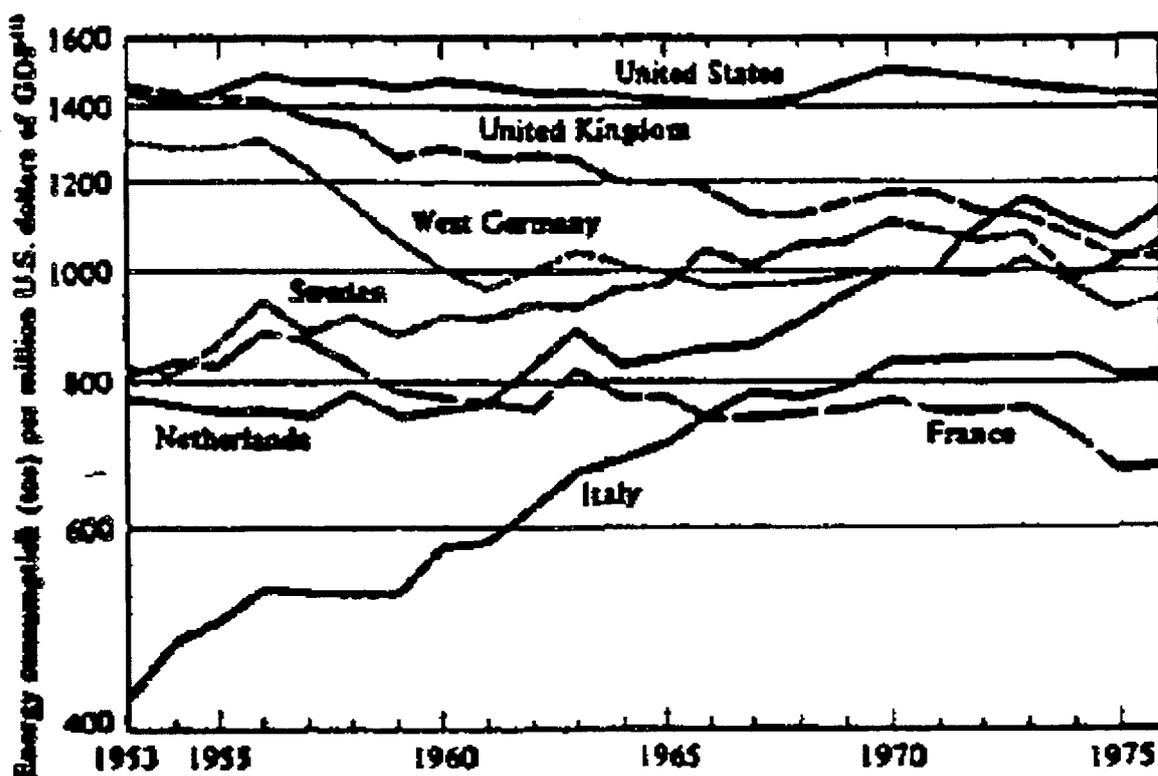


Fonte: [PAOLI, (1990)].

Ao se calcular o consumo per capita dos países desenvolvidos tinha-se uma idéia razoavelmente aceitável do consumo a ser atingido, quando os países em desenvolvimento atingissem o mesmo patamar de renda. A análise temporal feita por [MAINGUY, (1967)], comprova a forte e relativa estabilidade existente entre o consumo de energia e a renda. A tese mais aceita era aquela que afirmava que a *elasticidade* tendencial entre o *consumo de energia* e a *renda* era igual a 1. Essa afirmação é clara em [BROOKES, (1972)], nos anos 60 e [LATTÈS,

JEANBLANC, (1982)], nos anos 80. A figura (2.1.3), mostrando a evolução da intensidade energética para diversos países, excetuando a Itália, ilustra o que foi dito.

FIGURA (2.1.3): Evolução da intensidade energética para alguns países.



Nota: Consumo de energia (tEP) por GDP expresso em dólar constante de 1972.

Fonte: Dunkerley J., ed., *International comparisons of energy use*. Proceedings of the workshop, sponsored by Resources for the Future and the Electric Power Research Institute, Washington DC, em [PAOLI, (1990)].

Entretanto, os estudos sobre o consumo energético conduzidos no decênio 1975 – 1985 mostram uma modificação profunda nessa relação, não no sentido de negá-la, mas no sentido de se alertar a comunidade científica do perigo de se aceitá-la de forma indiscriminada [ADELMAN, (1980)]. Aliás, um coeficiente de *elasticidade energia-renda* inferior a 1, tornou-se um objetivo a ser perseguido pelas nações, refletindo a preocupação, que então se tornara prioritária, a da *conservação de energia*.

Portanto, conforme foi explanado, a energia não é consumida com a finalidade em si própria, mas com um objetivo definido, seja para iluminar, gerar calor ou energia mecânica ou transportar pessoas e mercadorias. A sua demanda ou necessidade está, portanto, indelevelmente atrelada às necessidades da atividade do homem e do complexo sócio-econômico que lhe representa e, usando a terminologia pertinente é uma *demanda derivada*.

Dentre as diversas maneiras de se relacionar o consumo de energia com o PIB, destaca-se o modelo, no qual os consumos finais são divididos nos efeitos *conteúdo energético, estrutura econômica e atividade econômica*. Assim, o acréscimo  $\delta E_{fi}$  de consumo final de energia, do setor (i), pode ser escrito:

$$\delta E_{fi} = \delta[(E_{fi}/VA_i).(VA_i/PIB).(PIB)] = \delta[(E_{fi}/VA_i)].VA_i + (E_{fi}/VA_i). \delta(VA_i/PIB).PIB + (E_{fi}/PIB).\delta(PIB) + \dots \text{Eq.(2.1.1.d)}$$

+ termos contendo derivadas de ordem superior.

Onde:

$\delta E_{fi}$  = Variação na demanda de energia final do setor (i).

$VA_i$  = Valor adicionado do setor (i).

PIB = Produto interno bruto.

$\delta(E_{fi}/VA_i)$  = Variação da intensidade energética do setor (i) - efeito conteúdo energético.

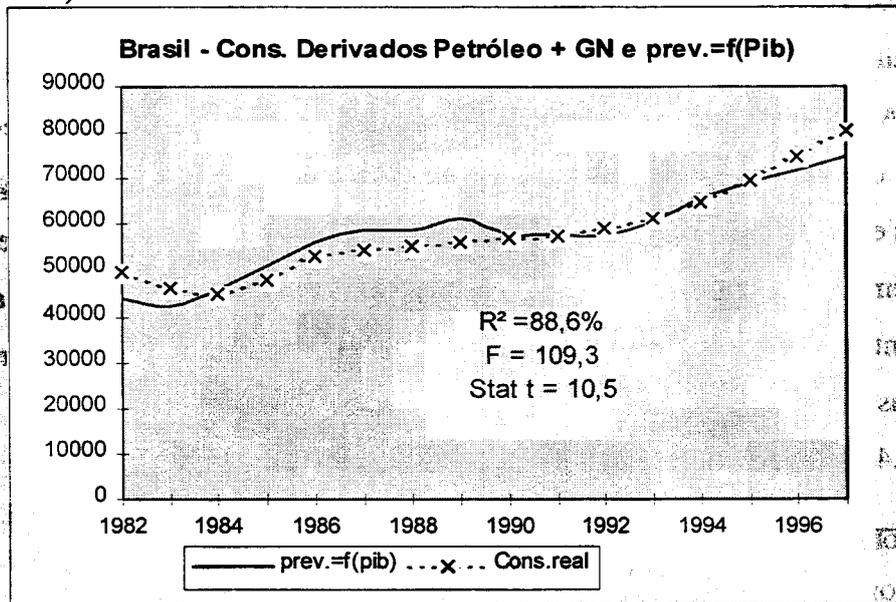
$\delta(VA_i/PIB)$  = Variação da participação do setor (i) no PIB - efeito estrutura econômica.

$\delta(PIB)$  = Variação do PIB.

A Equação (2.1.1.d) representa, então, a variação do consumo de energia dos setores produtivos, em função da variação de parâmetros relacionados com a economia e da variação da própria atividade econômica, cuja essência mostra a necessidade do desenvolvimento de um modelo prospectivo macroeconômico.

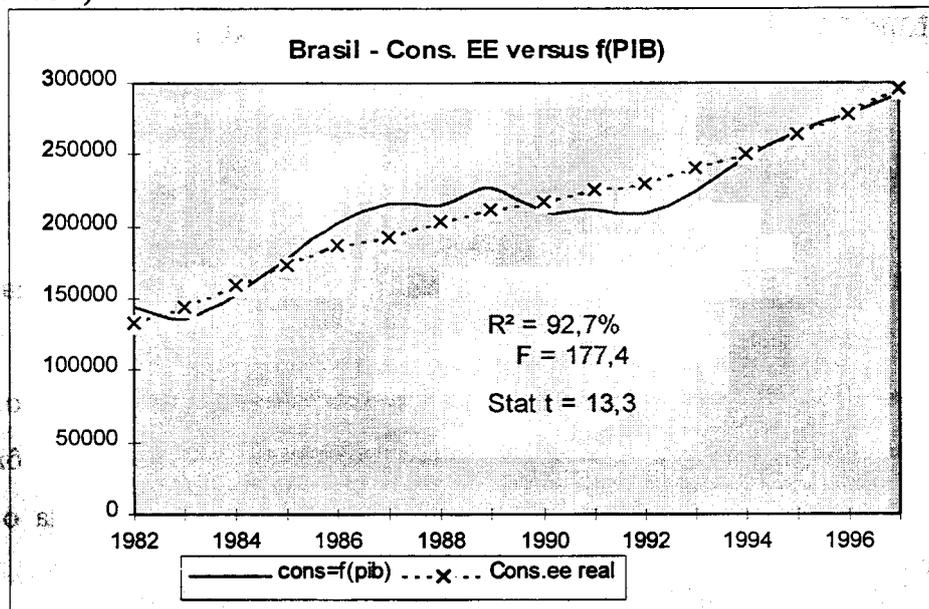
Os gráficos (2.1.1) e (2.1.2) mostram a forte correlação linear, existente entre o consumo de energia, no caso derivados de petróleo mais gás natural e eletricidade, com a atividade econômica, representado pelo Produto Interno Bruto do Brasil.

GRÁFICO (2.1.1): Consumo de energia (em  $10^3$  tep), como função linear do PIB (em  $10^6$  US\$ constantes de 1997).



Fonte: [BEN, (1988)] e elaboração própria.

GRÁFICO (2.1.2.): Consumo de eletricidade (em GWh), como função linear do PIB (em  $10^6$  US\$ constantes de 1997).

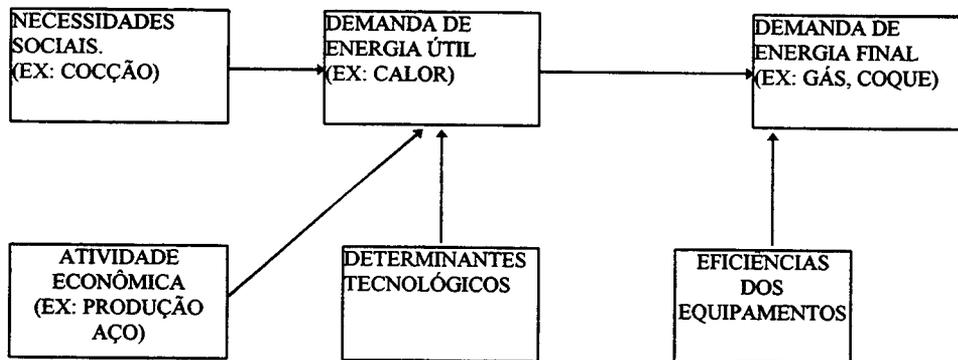


Fonte: [BEN, (1988)] e elaboração própria.

A demanda de energia é induzida através de *determinantes sócio-econômicos*, ou seja, pela atividade econômica e pela satisfação de necessidades sociais, como a mobilidade das pessoas,

banho quente, cocção, iluminação, lazer e outras. Tais determinantes levam à demanda de *energia útil* em termos, por exemplo, de energia mecânica e calor, cujas *intensidades* dependem da tecnologia utilizada para satisfazer as necessidades sociais ou para tocar as atividades econômicas. A demanda por fontes ou de energia final, como carvão, petróleo, gás natural, eletricidade e outras, pode ser calculada a partir do nível da demanda de energia útil, a qual dependerá das eficiências dos equipamentos usados para converter a energia final em energia útil. Portanto, a demanda de energia final da sociedade está diretamente relacionada aos padrões de desenvolvimento econômico, social e tecnológico. A figura (2.1.4) mostra a estrutura relacionando as variáveis citadas:

FIGURA (2.1.4): Estrutura contábil da demanda de energia no MEDEE.



Fonte: [LAPILLONE, (1978)].

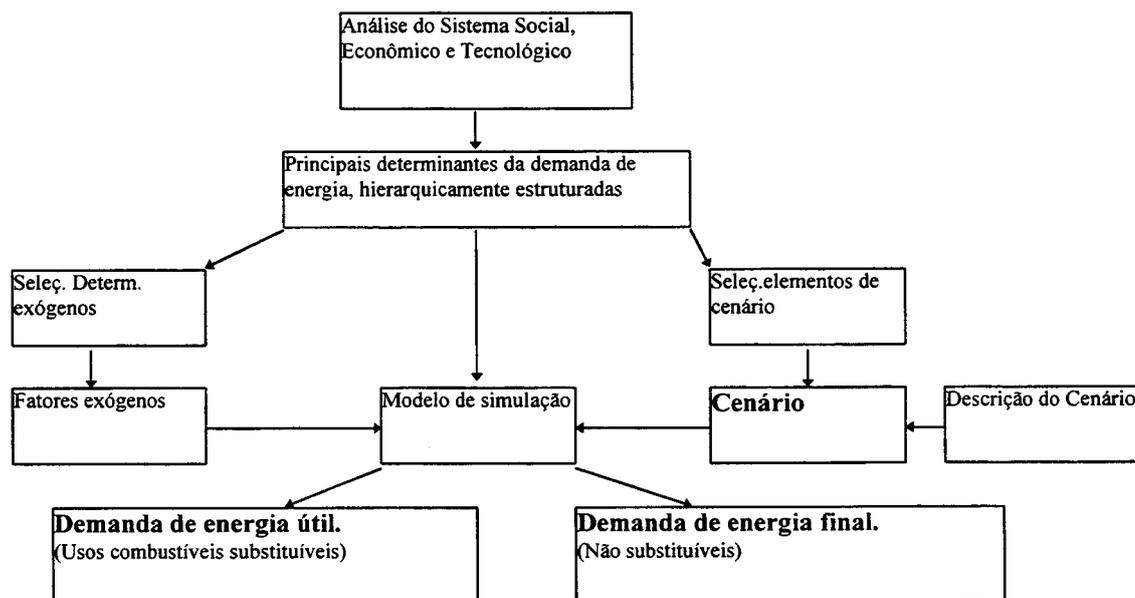
São três os principais fatores, que desempenham um papel fundamental na evolução da demanda de energia:

- O padrão de desenvolvimento da sociedade em foco, ou seja, o crescimento econômico e o estilo de vida, que definirão os determinantes sócio-econômicos.
- O grau de desenvolvimento tecnológico, que modifica ou aumenta o conjunto de tecnologias disponíveis.
- A evolução dos preços da energia, os quais influenciam nas escolhas tecnológicas, bem como nas escolhas entre fontes mutuamente substituíveis.

Através do entendimento detalhado dos principais fatores determinantes da demanda de energia, pode-se compreender melhor as dificuldades envolvendo a sua avaliação prospectiva, no *longo*

prazo, uma vez que esse processo é incerto e não determinístico, dado que a dinâmica da sociedade é um fenômeno complexo, recheado de mudanças de necessidades sociais, de tecnologias e mais genericamente, de padrões de desenvolvimento.

FIGURA (2.1.5): Estrutura hierárquica do modelo de demanda de energia MEDEE.



Fonte: [LAPILLONE, (1978)].

Atento a essas limitações, novas técnicas foram desenvolvidas na década de setenta, as quais desagregam a demanda total de energia final, nas categorias de uso final, acoplada a modelos de simulação e técnica de cenários, para projetar a evolução da demanda energética.

Assim, modelos com nomes variados tais como MUSE (Modeling Useful Energy), WISE (Wisconsin Regional Energy Model) e MEDEE (Modele d'Evolution de la Demande d'Energie), surgiram na década de 70 e diferiam entre si, basicamente em três aspectos: primeiro, quanto ao nível de desagregação dos sistemas social, econômico e tecnológico; segundo, quanto à seleção das tecnologias de uso final e por último, quanto ao processo de descrição dos cenários futuros [LAPILLONE, (1978)], [CHATEAU, (1979)] e [CHATEAU, (1977)].

Apresenta-se uma breve exposição do MEDEE, uma vez que o autor da presente tese participou do trabalho pioneiro da aplicação desse modelo ao Brasil, em 1979 [PRADO, (1981)],

sendo responsável pelas modificações computacionais, que foram necessárias para adaptá-lo ao caso brasileiro, principalmente nos aspectos referentes à utilização da biomassa e à estrutura dos setores residencial, comercial e industrial [KAMIMURA, (1985)]. Os principais objetivos do MEDEE são:

- Identificar os determinantes mais importantes da demanda de energia.
- Oferecer um instrumento, pelo qual seja possível lidar com mudanças nesses determinantes, que afetam a demanda de energia.
- Entender como determinados fatos, como os choques do petróleo, afetam a demanda de energia.
- Determinar, através da técnica de cenários, como a demanda de energia é afetada pelos múltiplos aspectos do desenvolvimento da sociedade.
- Fazer uso, no processo de descrição dos cenários, do trabalho do sociólogo, do economista e do analista político, quanto aos aspectos referentes à evolução futura da sociedade.

A abordagem MEDEE envolve os seguintes passos:

- Uma análise sistemática dos sistemas social, econômico e tecnológico, afim de identificar os fatores principais da evolução das necessidades energéticas futuras.
- Desagregação da demanda total de energia numa gama completa, dentro das possibilidades, de categorias de usos finais. A seleção das categorias a serem consideradas dependem dos objetivos do analista e dos dados disponíveis.
- Organização de todos os determinantes numa estrutura hierárquica, a partir do nível macro ao micro, mostrando como os macrodeterminantes afetam a categoria de uso final.
- Construção de um modelo de simulação, simplificando a estrutura do sistema e agrupando os determinantes em duas classes: exógenos e elementos de cenário. Esses últimos são basicamente os determinantes, cuja extrapolação pura e simples do comportamento passado é problemática, em função das mudanças estruturais nos padrões de crescimento da demanda energética, como por exemplo, medidas

políticas e preços da energia. A evolução de tais fatores é especificada no cenário. Os fatores exógenos são aqueles que, embora embutindo uma boa dose de incerteza são bastante mais previsíveis: são simplesmente extrapolados de séries temporais passadas ou podem ser importados de outros estudos, como por exemplo, o crescimento populacional e o número de pessoas por residência.

A figura (2.1.5) mostrada anteriormente, representa esquematicamente a abordagem MEDEE.

### 2.1.1. APLICAÇÕES DO MEDEE AO CASO BRASILEIRO

Esta seção resume o artigo de A. Kamimura<sup>2</sup>, no qual é apresentada uma análise metodológica retrospectiva dos principais trabalhos de previsão da demanda de energia, utilizando o MEDEE, aplicados no Brasil e no Estado de São Paulo.

O objetivo deste artigo foi mostrar os resultados de algumas previsões de consumo de eletricidade feitas no passado, por meio do modelo MEDEE e compará-los com os resultados efetivamente observados. Algumas previsões realizadas, na mesma ocasião, pela Eletrobrás são também apresentadas.

É sabido que o ignorância sobre o comportamento futuro da demanda de energia e as respectivas conseqüências têm se constituído num verdadeiro *leito de Procusto* para o planejamento do setor elétrico. Estimativas da demanda de energia elétrica, acima do realizado, têm sido o resultado de hipóteses, sistematicamente otimistas, sobre o comportamento da economia nacional. Essas premissas induziram o setor elétrico a um processo de antecipação e de sobreinvestimento, extremamente oneroso ao país, na década de setenta.

A constatação, portanto, da importância de uma correta avaliação prospectiva da demanda, no planejamento energético é indubitável. Pode-se verificar, como será mostrado e justificado a seguir, que metodologias prospectivas sobre a demanda futura, elaboradas a partir do consumo final desagregado e associadas à técnica de cenários, fornecem resultados sensivelmente melhores do que aqueles obtidos pela Eletrobrás, na mesma época. Em particular, três trabalhos, nos quais, o autor da presente tese foi co-autor, realizados respectivamente, em (1979/80), (1983) e

---

<sup>2</sup> [KAMIMURA A., (1995)].

(1983/84), os dois primeiros referentes ao Brasil (Tabela 2.1.1 e Tabela 2.1.2) e o terceiro ao Estado de São Paulo (Tabela 2.1.3), calculados segundo essa técnica, terão seus resultados, para energia elétrica, apresentados e comparados com o BEN (Balanço Energético Nacional) e BEESP (Balanço Energético do Estado de São Paulo). Apresentam-se também, resultados obtidos para a França, pelos criadores do método [CHATEAU, (1979)], no horizonte do ano 2000, que por interpolação geométrica, foi estimado para o ano de 1997, para comparação com dados reais de consumo, extraídos do balanço energético da OECD (Tabelas 2.1.4).

Além destes resultados, são mostradas também, duas previsões oficiais (Tabelas 2.1.5 e 2.1.6) de consumo de eletricidade realizadas, aproximadamente, na mesma época em que foi utilizado o MEDEE, pela primeira vez, no Brasil. Antes de se fazer uma descrição resumida da metodologia utilizada nos três primeiros trabalhos, apresentam-se, de forma sucinta, alguns métodos econométricos tradicionais de previsão.

Os modelos mais simples são aqueles denominados condicionais, nos quais são estabelecidas relações, via elasticidade, entre o consumo de energia e grandezas econômicas como o PIB (Produto Interno Bruto). Essas relações são obtidas através de correlações entre séries históricas dessas grandezas.

Um outro método que seria uma simplificação deste é aquele denominado de modelo autônomo, onde simplesmente se coloca o tempo como variável independente explicativa. Um bom exemplo desse modelo é aquele em que singelamente se diz: que o consumo da eletricidade dobra a cada dez anos.

Por outro lado, os modelos chamados de técnico-econômicos, como o MEDEE, cujo ponto crucial está na elaboração de cenários e na forma desagregada de focar o consumo final de energia, oferecem uma alternativa do ponto de vista metodológico. As principais características desse método são:

- análise da demanda ao nível de usos finais, cada qual identificado setorialmente e por fonte de energia;

- tais usos estão condicionados à satisfação de necessidades sociais ou de atividades produtivas;
- utilização da técnica de cenários, pela qual o futuro não é construído por meras inferências tendenciais do passado, mas por fatores e ações humanas, organizadas racionalmente e dirigidas ao futuro de forma consciente. Estes fatores são distribuídos por níveis hierárquicos de relevância e atuação.

Guardadas as devidas proporções, é possível fazer uma analogia da metodologia de previsão da demanda de energia tradicional e o método de cenários técnico-econômicos, com a prosaica preocupação em descobrir antecipadamente a despesa de uma compra semanal em um supermercado. A maneira mais intuitiva e trivial, que corresponderia ao processo tradicional, seria a observação da média dos gastos “per capita” efetuados nas semanas anteriores e simplesmente transportá-la para a semana seguinte, corrigida pelo novo número de pessoas. A outra maneira de se prever o gasto, que corresponde à metodologia descrita neste trabalho é definir um “cenário” para a semana em questão, ou seja, se haverá algum jantar especial e respectivo número de convidados, se ocorrerão ausências na família, se na semana estão previstos eventos carnavalescos, escolares ou outros. Estabelecido o “cenário”, vem o levantamento das necessidades a serem supridas, bem como a forma e qualidade de atendimento das mesmas, definindo neste estágio o rol de produtos a serem comprados. Em seguida, contabilizam-se monetariamente os itens componentes da compra semanal, com o auxílio das listas de preços praticados anteriormente, em cada produto, devidamente corrigidos, para finalmente se obter a previsão da despesa total. É importante notar a natureza *não extrapolativa* do valor encontrado, mas um valor que incorpora as hipóteses pertinentes ao cenário construído, que pode ser um cenário desejável, de ruptura ou até mesmo aqueles correspondente aos eventos ocorridos na semana anterior. Sob o aspecto metodológico, a construção de cenários exige uma estrutura estratificada hierarquicamente, em que os parâmetros pertencentes a um determinado nível vão condicionar os parâmetros econômicos, tecnológicos e sociais pertencentes ao estrato subjacente.

Dessa maneira, encontram-se no primeiro nível os mecanismos que inserem o País no contexto internacional, quanto às políticas de importação-exportação, de dependência externa de

matérias-primas, tecnologias e divisas, de balanço de pagamentos e da divisão internacional do trabalho. No segundo nível, onde predominam os grandes agregados macroeconômicos e sociais, são firmadas as variáveis de sustentação compatíveis com a forma ou modo de desenvolvimento econômico e estilo de vida pretendido ou prognosticado. Estas variáveis estão associadas quantitativamente à estrutura e à dinâmica dos setores produtivos, à demografia, à estratificação social, à urbanização entre outras. No terceiro nível, dados setoriais, tais como formas e padrões de industrialização, modos de atendimento da demanda por transportes, padrões de consumo da população por classe de renda, tipos e alternativas de cultura no sistema agrícola, assim como informações provenientes de séries históricas. No quarto e último nível encontram-se os parâmetros técnicos e respectivas evoluções de eficiência, de acordo com os programas de conservação escolhidos. Esses parâmetros, associados ao volume de atividade por setor, definirão neste estágio os consumos de energia demandados por usos e por forma em cada cenário considerado.

A razão pela qual essa forma desagregada de prospeção da demanda fornece resultados mais próximos da realidade do que metodologias baseadas em formas agregadas, pode ser matematicamente justificada. Poder-se-ia, ao menos teoricamente, considerar o cálculo do prognóstico da demanda dividido em duas partes:

- 1) Uma componente fortemente não aleatória, cuja estrutura estaria vinculada ao conhecimento prévio das variáveis extensamente descritas anteriormente, responsáveis pelo consumo de energia, e também ao conhecimento dos projetos econômico-sociais, planejados e definidos em cronograma. O conhecimento antecipado e detalhado dessas variáveis faz supor, obviamente, um desvio menor na avaliação desta parcela determinística, quando da utilização de um modelo desagregado.
- 2) A outra parcela do prognóstico, chamada aqui de componente quase aleatória, como o próprio nome sugere, é dominada por fenômenos tipicamente randômicos. Também nesse caso, métodos altamente desagregados de estimativa são estatisticamente favorecidos, uma vez que desvios positivos da realidade nas estimativas tendem a compensar os desvios negativos. Esse fato não ocorre no método estimativo via um único agregado, no qual a probabilidade, “grosso modo” de desvio nulo, num processo

randômico seria de 1/3, menor portanto, do que a probabilidade de 2/3, resultante dos desvios positivos somado aos desvios negativos. Explicando de outra forma, suponha-se que os desvios nulo, positivo e negativo sejam representados por três bolas grandes, respectivamente, branca, preta e vermelha. A chance, então, de se obter a bola branca numa única retirada é igual a 1/3, correspondendo a uma estimativa via agregado, como já foi explicado. Dividindo-se as três bolas grandes em um número muito grande de bolas menores e, fazendo uma única retirada de um número de bolinhas equivalente a uma bola grande, a chance de que o desvio seja nulo vai ser de 100%, se os eventos forem realmente randômicos e homogeneamente equivalentes, pois a probabilidade de retirada de números idênticos de bolinhas de cores distintas vai ser igual a 1, correspondente ao método desagregado.

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos com o MEDEE (Modèle d'Evaluation de la Demande d'Énergie), adaptado às condições nacionais e é um modelo com alto nível de desagregação em sua estrutura no cálculo da demanda total de energia, no qual são empregados cerca de 140 variáveis associadas à demanda de energia nos diversos níveis hierárquicos setoriais. Por níveis hierárquicos, tomando-se como exemplo, o setor transportes, subentenda-se: nível internacional (preço do petróleo); nível nacional (política de transportes); nível setorial (política de transporte modal); nível tecnológico (consumo específico dos veículos).

O primeiro resultado foi extraído de “*A utilização do modelo MEDEE na Avaliação da Demanda de Energia no Brasil*” - trabalho realizado entre 1979 e 1980 e publicado pela revista FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas) [PRADO, (1981)]. Nas tabelas apresentadas a seguir, retiradas desse estudo, a diferenciação entre os cenários se dá através dos *elementos de cenário* que os compõe. Assim, ao Cenário ECOEN as variáveis tecnológicas, econômicas e sociais estão associadas à uma política de conservação de energia, enquanto que o Cenário Básico reflete a tendência mais provável dos acontecimentos.

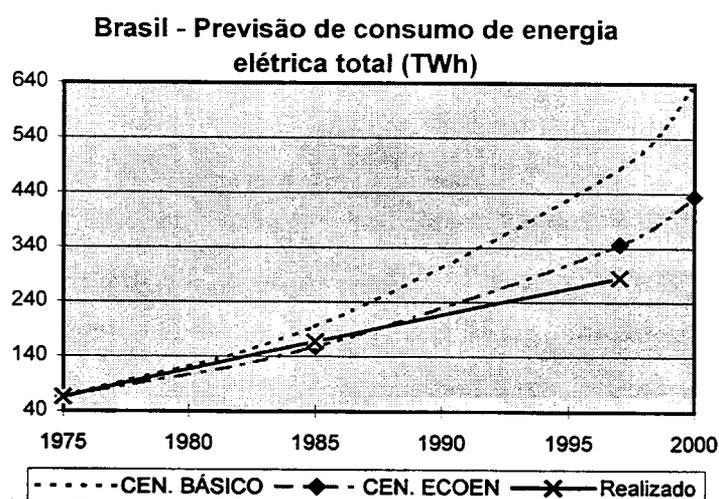
TABELA (2.1.1a) Brasil - Previsões de consumo de energia elétrica total (\*\*) (TWh)

ANO	1975	1985	1997	2000
Cenário Básico	66,02	195,35	485,78(*)	637,73
Cenário ECOEN	66,02	157,68	345,95(*)	433,62
Realizado	66,02	167,34	285,35	

(\*) Obtido por interpolação geométrica. (\*\*) Exceto setor energético

Fonte: [PRADO, (1981)] e [BEN, (1988)]

GRÁFICO (2.1.3): Previsões de consumo de eletricidade total (TWh):



Fonte: Tabela (2.1.1.a).

Outro estudo- *Energy System Analysis and planning for Brazil*- Brasília, 1984 - MME (Ministério de Minas e Energia) - Secretaria de Tecnologia CDU 620.9(81) (083.9), foi realizado em 1983, utilizando-se o MEDEE 2, cujo ano base foi 1980 (Reference Scenario). Os resultados apresentados foram utilizados como dados de entrada ao modelo de otimização da oferta de energia MARKAL (Market Allocation) pelo MME no horizonte 1985-2000.

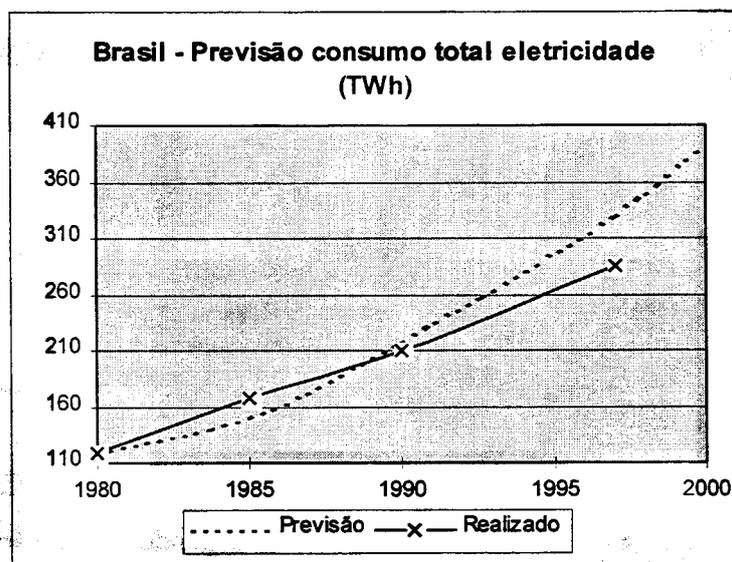
TABELA (2.1.2) Brasil - Previsão consumo total eletricidade (\*) (TWh)

	1980	1985	1990	1997	2000
Previsão	119,31	151,03	217,59(**)	328,78(**)	392,41
Realizado	119,31	167,34	210,82	285,35	

(\*) exceto setor energético. (\*\*) Obtido por interpolação geométrica.

Fonte: MME/SETEC (1984)

GRÁFICO (2.1.4): Previsão do consumo total de eletricidade (TWh):



Fonte: tabela (2.1.2).

Outro trabalho, “Cenários de Demanda e Investimentos em Energia para o ano 2000 no Estado de São Paulo”. CESP 620.9.003 - estudo realizado pelo grupo de Análise de Demanda de Energia no Estado de São Paulo do Conselho Estadual de Energia em 1983/1984, utilizado o MEDEE - Ano Base de dados: 1980, publicado em [GOLDEMBERG, (1986)]. Os resultados finais desse trabalho, resumidos a seguir, foram obtidos utilizando-se a técnica de DELPHI, envolvendo dezenas de especialistas na definição do comportamento prospectivo dos elementos de cenário.

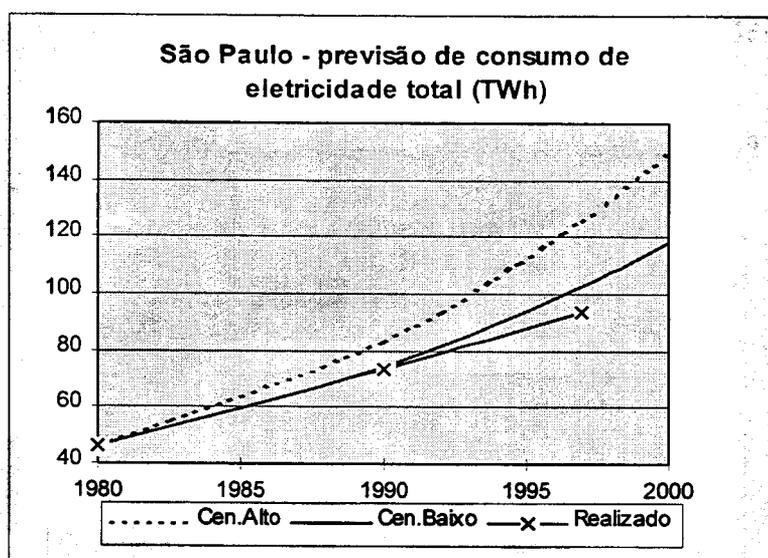
TABELA (2.1.3) São Paulo - previsão de consumo de eletricidade total (\*) (TWh)

	1980	1990	1997	2000
Cenário Alto	46,47	83,23(**)	125,5(**)	149,65
Cenário Baixo	46,47	73,99(**)	102,47(**)	117,81
Realizado	46,47	73,32	93,73	

(\*) Exceto Setor Energético. (\*\*) Obtidos por interpolação geométrica.

Fonte: [CEE/ESP, (1986)], [GOLDEMBERG, (1986)] e [BEESP, (1998)]

GRÁFICO (2.1.5): Previsão de consumo de eletricidade total (TWh):



Fonte: tabela (2.1.3).

Os criadores do método MEDEE fizeram um estudo em 1979 [CHATEAU, (1979)], no qual apresentam as previsões de demanda de eletricidade, segundo três cenários (A), (B) e (C).

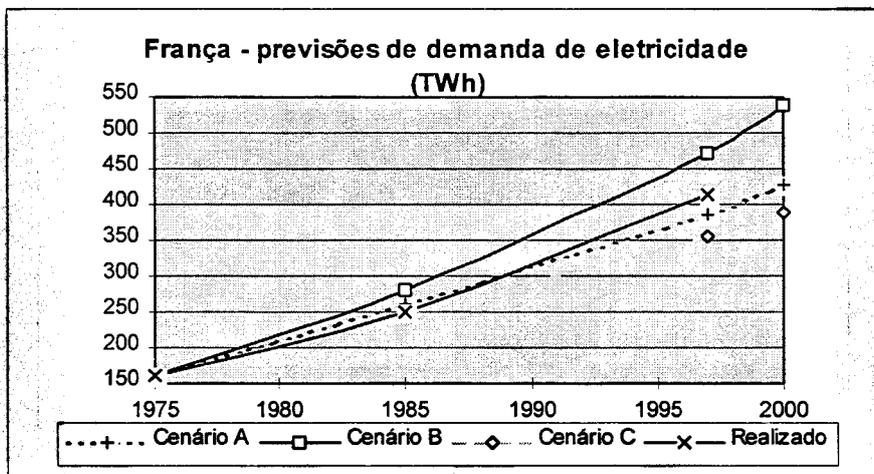
TABELA (2.1.4) França - previsões de demanda de eletricidade (TWh).

	1975	1985	1997
Cenário A	160,83	260,3	387,12(*)
Cenário B	160,83	279,3	472,73(*)
Cenário C	160,83	248,0	355,22(*)
Realizado	160,83	249,4	413,0

(\*) Obtido por interpolação geométrica.

Fonte: [CHATEAU, (1979)] e Balanço OECD

GRÁFICO (2.1.6): Previsões de demanda de eletricidade em França (TWh):



Fonte: Tabela (2.1.4).

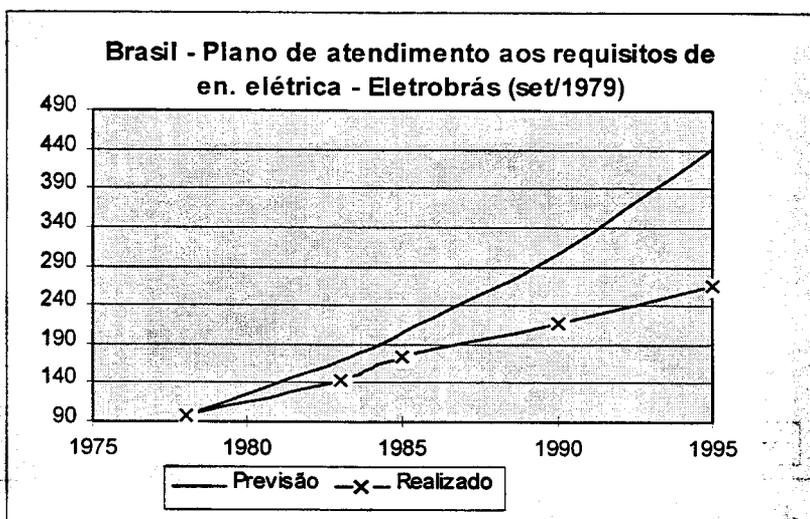
Em seguida são apresentadas duas previsões oficiais de energia elétrica, sendo que uma delas, correspondente à Tabela (2.1.5), é um trabalho contemporâneo às previsões da Tabela (2.1.1).

TABELA (2.1.5a) - Plano de atendimento aos requisitos de energia elétrica até 1995 (set/1979) - Eletrobrás/MME (TWh)

ANO	PREVISÃO	REALIZADO	DESVIOS (%)
1978	98,3	98,3	-
1983	169,44	143,91	17,4
1985	204,95	173,56	18,1
1990	307,21	217,66	41,1
1995	440,66	264,8	66,4

Fonte: [Eletrobrás/MME, (1979)] e [BEN, (1998)]

GRÁFICO (2.1.7a): Plano de atendimento aos requisitos de eletricidade (TWh)



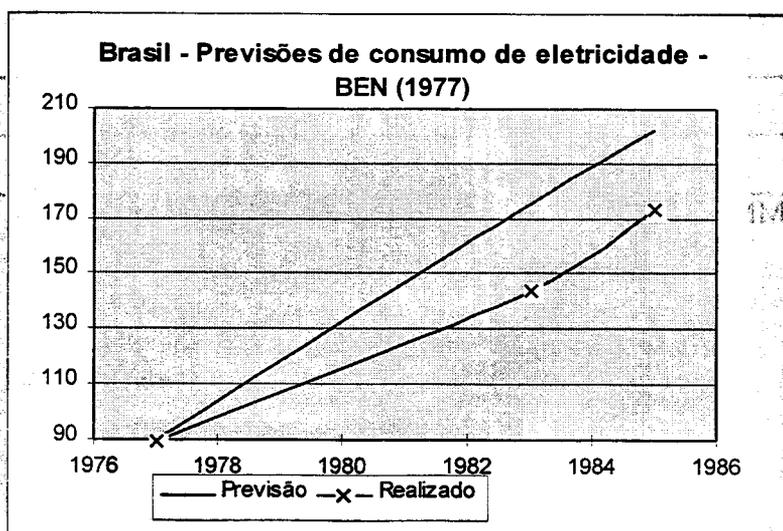
Fonte: [Eletrobrás/MME, (1979)] e [BEN, (1998)]

TABELA (2.1.5b) - Previsões de consumo de energia elétrica do BEN (TWh).

Ano	Previsão	Realizado	Desvio
1977	90,35	88,84	1,7%
1983	175,53	143,91	22,0%
1985	201,99	173,56	16,4%

Fonte: [BEN, (1977)] e [BEN, (1995)]

GRÁFICO (2.1.7b): Previsões de consumo de eletricidade do MME (TWh).



Fonte: [BEN, (1977)].

Pelos resultados obtidos para o Brasil, Tabelas (2.1.1) e (2.1.2) e para o Estado de São Paulo, Tabela (2.1.3) é visível que metodologias que desagregam a demanda de energia nos vários setores consumidores e utilizam a técnica de cenários, ou seja, modelos análogos ao MEDEE, produzem resultados razoáveis, ao menos no tocante ao horizonte de médio prazo; e melhores, sem dúvida, que as previsões oficiais, realizadas na mesma época [Tabelas (2.1.5) e (2.1.6)]. Entretanto, à medida em que esse horizonte se distancia, os efeitos característicos de um *sistema complexo*, a ser discutido adiante, começam a se fazer valer, principalmente em se tratando da *previsibilidade* do comportamento, da variável mais determinante da demanda de energia, ou seja, da *atividade econômica*, ou PIB. Em tais estudos, apesar da posição conservadora dos autores, na ocasião, a respeito dos índices de crescimento dessa variável, comparado com as previsões oficiais, houve, assim mesmo, uma grande superestimação do comportamento da atividade econômica, ignorando as flutuações já observáveis no passado e que toda economia, praticamente está sujeita. A previsão econômica, no caso do Brasil, foi particularmente prejudicada, em virtude da profunda crise, em que o país mergulhou, tornando qualquer exercício de antevisão de acontecimentos, uma tarefa fadada ao fracasso. Nesse aspecto, o estudo de caso, feito aproximadamente, na mesma época para a França, pelos autores do MEDEE, produziram resultados sensivelmente melhores, como pode ser observado na Tabela (2.1.4) e respectivo gráfico.

Um aspecto não abordado nos trabalhos citados, mas que possui relevância crescente com a gradativa desregulamentação do setor energético é a influência dos preços na definição da demanda de energia. A atenção sobre tal aspecto vem sendo até o momento negligenciada com alguma razão, uma vez que tradicionalmente o setor energético tem sido monopolisticamente conduzido através de uma política de preços administrados. A aprovação da Lei nº 8631, que permite às empresas elétricas certa autonomia na fixação de suas tarifas, foi o início das grandes transformações ocorridas no setor elétrico, havendo, simultaneamente tanto a desregulamentação, quanto a privatização desse serviço público. Portanto, no momento atual, o foco da atenção em relação às estimativas e previsões de consumo de energia elétrica está sobre o horizonte de curto prazo e também, sobre os níveis praticados das tarifas elétricas e os preços de outros energéticos,

possivelmente concorrentes. Pela Teoria Econômica, pode-se dizer que o consumo de um determinado bem ou serviço é função da renda disponível do consumidor, do preço do bem em questão, do preço dos bens sucedâneos e de diversos outros fatores. Em linhas gerais, o preço da energia elétrica afeta a produção através de um efeito econômico e de um efeito tecnológico. O efeito econômico, aumenta os custos de produção, deslocando a curva de oferta. O efeito tecnológico, por sua vez, tornaria mais eficiente o uso da energia elétrica ou incentivaria o aumento da auto-produção, o que reduziria, teoricamente, a intensidade do uso da energia elétrica por unidade produzida. Entretanto, como vai ser apresentado na seção (4.3), não é isto que ocorre no Brasil.

Convém repetir que, em todos os trabalhos citados, o comportamento da variável econômica PIB é um determinante fundamental da demanda energética e foi classificado e estimado como um elemento de cenário, isto é, dependente tão somente da opinião, abalizada ou não, de uma pessoa ou grupo de especialistas. Tal opinião foi, provavelmente, baseada em critérios e sentimentos essencialmente subjetivos e “lineares”, ou no máximo extraído de algum modelo macroeconômico de “crescimento exponencial”. No entanto, como vai ser mostrado no decorrer deste trabalho, o comportamento associado aos sistemas complexos, caso em que se enquadra o sistema sócio-econômico, é demasiado rico em flutuações e fenômenos não lineares, para ser acompanhado ou predito por modelos lineares ou modelos mentais simplificados. Um desses fenômenos, não considerados nesses modelos tradicionais é o chamado *ciclos de negócio*, de periodicidade aproximada de uma década, conhecidos de longa data. Ignorar esse comportamento num modelo de previsão de demanda de energia é incorrer, com certeza, em erros grosseiros, principalmente em se tratando de países, onde tal comportamento é bastante nítido e irrefutável.

## 2.2. OS CICLOS ECONÔMICOS.

*“[...] sete anos de grande abundância nas terras do Egito. [...] E então, virão em seguida, sete anos de fome.”*  
*Gênese, cap.41, vers.29 e 30.*

### 2.2.1. HISTÓRICO.

“*Prosperidade, Recessão, Recuperação...*”, representam o comportamento dinâmico generalizado da economia de todos os países, sendo a citação bíblica acima, o primeiro registro documentado deste fato. Um dos primeiros economistas a fazer um estudo sistemático dessas flutuações econômicas foi o americano Wesley Mitchell, com o livro *Business Cycles*, em 1913, cuja definição para ciclos de negócios [TVEDE, p.69,258, (1997)] é:

*“Ciclos de negócio são um tipo de flutuação encontrado no agregado da atividade econômica de nações que organizam seus trabalhos principalmente em empreendimentos de negócio: o ciclo consiste da expansão ocorrendo ao mesmo tempo, em muitas atividades econômicas, seguido por recessão, contrações e reacendimentos, também gerais, que se fundem numa fase de expansão do novo ciclo; esta sequência de mudanças é recorrente, mas não periódica; em duração, ciclos de negócio variam de mais de um ano até dez ou doze anos.”*

Esta definição contém dois aspectos fundamentais: o primeiro é que as oscilações ocorrem em *agregados*. O que quer que seja o causador dessas flutuações, ele atua na economia como um todo. O segundo aspecto é que os ciclos *não são periódicos*. Mitchell realçava continuamente este último aspecto, temendo que as pessoas fossem seduzidas, pela aparente regularidade deste fenômeno. Em 1920, foi co-fundador da NBER, o National Bureau of Economic Research, uma instituição dirigida para o estudo de ciclos de negócio. Sua análise dos ciclos de negócio baseou-se no método de determinar, primeiramente, para cada ciclo, o início e o fim de nove fases, identificando os picos e os vales nos indicadores agregados. Em seguida, expressou o valor das séries temporais de uma dada fase, como um percentual do seu valor, através das nove fases, para reduzir o efeito da tendência de longo prazo. Dessa forma, ele pôde isolar os desvios em torno do comportamento médio e com isso calculou as flutuações de um número grande de ciclos para

identificar o protótipo de comportamento através de um ciclo padrão. Mitchell viveu o suficiente para constatar que seus indicadores funcionavam bem para os EUA, mas não o suficiente para ver se funcionavam para outros países.

Em 1946, Burns e Mitchell [COINTET, (1997)], propõem uma definição referencial para o ciclo econômico:

*“Uma categoria de flutuações da atividade econômica que consiste em uma fase de expansão observada simultaneamente para numerosos setores, seguida por uma fase de contração semelhante, depois uma retomada que desemboca sobre a fase de expansão do ciclo seguinte. Essa seqüência é recorrente mas não periódica.”*

As principais obras abordando os ciclos econômicos, conectando-os com o princípio da aceleração e a teoria do investimento datam do início deste século [AFTALION (1913), CLARK (1917), HARROD (1936), SAMUELSON (1939 e 1986), HABERLER (1944), HICKS (1949) e KNOX (1985)].

Sobre os ciclos de negócio pode-se afirmar que:

- Ciclos de negócio têm sido observados através de toda história econômica capitalista.
- Eles são muito semelhantes em países industrializados e seus comportamentos não tem mudado muito no curso da história.
- As variáveis macroeconômicas associadas aos ciclos, tais como lucros, preços, estoques, taxa de juros, quantidade de moeda e respectiva velocidade tendem a se comportar de modo a reforçar o comportamento cíclico, dentro de uma estrutura em sintonia com os *atrasos*.
- Existem muitos ciclos de diferentes durações. Os arquétipos são os de curta, média, e longa duração, respectivamente nomeados de “Kitchin”, “Juglar” e “Kondratieff”, embora ciclos de outros períodos estejam, geralmente presentes. Os primeiros estão fortemente associados às flutuações de estoques e duram em média, cerca de 42 meses. Em períodos de crescimento, as empresas constituem estoques, para sustentar esse crescimento, mas em períodos de recessão, elas tendem a desestocar, agravando a situação econômica. Esses ciclos menores se acoplam em torno dos ciclos de média duração. Os médios, de “Juglar” ou de *negócios*, durando aproximadamente 10 anos, correlacionados ao crédito e *investimentos* de capital,

compreendendo quatro fases: a expansão, marcada pela elevação da produção, inflação e expansão do crédito; uma fase de crise; depois um período de depressão, caracterizada por deflação e queda na produção; finalmente uma fase de retomada correspondendo ao ponto mínimo do ciclo. Os ciclos longos, chamados de Kondratieff, têm como característica, o fato de não serem específicos de um dado país. Esses ciclos, fundamentados no estudo de séries estatísticas de quatro países, França, Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha, no período de 1770 a 1920, põem em evidência movimentos longos de duração entre 50 e 60 anos, compreendendo três fases: um período de expansão que dura perto de 20 anos; depois uma fase de recessão primária que dura 10 anos e, finalmente, uma fase de depressão. Kondratieff identificou três ciclos a partir do final do século XVIII: de 1790 a 1849, de 1849 a 1896. e de 1896 a 1920. Poder-se-ia adicionar um quarto período, iniciando em 1945 até o final desse século. Do ponto de vista empírico, os três ciclos poderiam se combinar, mutuamente. Segundo Schumpeter, um ciclo longo engloba seis ciclos de Juglar, que por sua vez compreende três ciclos de Kitchin. Entretanto, os ciclos de Kondratieff não podem ter ainda, sua existência estatisticamente comprovada, pois seriam necessários cerca de mais 450 anos de observação. Existe, ainda, um quarto tipo de ciclo<sup>1</sup> de duração aproximada de 17 ou 18 anos, associado à indústria de construção, que aparentemente tem relação com os resultados obtidos com o modelo *presa-predador*, da seção (4.1).

- O fato interessante a ser observado é que o *período de oscilação dos ciclos de negócio independem*, aparentemente do *tamanho, da composição e do estágio de desenvolvimento da economia* do país, uma vez que tais ciclos são observados através do mundo de forma sistemática, há mais de cem anos. Isto contradiz uma das teses mecanicistas, que propõe que as oscilações seriam resultantes dos *modos normais de vibração ou ressonâncias próprias* do sistema econômico, análogos a um sistema mecânico (vide citação de L. TVEDE, abaixo). Neste, as frequências de ressonância dependem da geometria e da composição física, ou seja, sistemas grandes têm frequências mais baixas do que sistemas pequenos. Exemplos: O céu e o violino. O “pêndulo simples”, cujo período de oscilação varia com a raiz quadrada do seu comprimento, resultando em frequência mais alta para comprimentos menores do pêndulo. É

---

<sup>1</sup> Em [HEILBRONER R., p.290, (1972)].

interessante notar que a objeção feita por Ruelle, na SEÇÃO (3.2.5), em relação às explicações de Lev Landau sobre o aparecimento da turbulência em fluidos, através também dos modos de vibração, guarda alguma semelhança com os argumentos expostos acima.

- Nenhum dos ciclos é perfeitamente periódico.
- Lucros de negócios flutuam muito mais que a renda. Estoques flutuam muito mais do que as vendas e taxas de juros de curto prazo muito mais que as de longo prazo.
- As amplitudes de oscilação são muito variáveis e extremamente sensíveis aos choques externos.

É interessante registrar as idéias de L. Tvede [TVEDE, p.146, op.cit.], sobre os ciclos:

*“Os ciclos de negócios podem ser comparados ao fenômeno da ressonância em sistemas mecânicos. Nestes sistemas, existem três maneiras de se “amortecer” essas oscilações: a primeira é removendo a fonte causadora da ressonância, modificando os modos normais de vibração, através da mudança da forma ou do material de que é feito o aparelho mecânico. A segunda é produzindo “ondas contrárias”, em contraposição de fase. A terceira é construir “absorvedores de choque” em volta das fontes de oscilação. O tratamento keynesiano para os ciclos de negócio é essencialmente a solução das ondas em contraposição de fase, através da gestão de investimentos públicos e política fiscal ativa. O problema é que tais medidas, frequentemente aumentam a oscilação, pois não estão perfeitamente contra-sintonizadas. Como exemplo do segundo método é, por exemplo eliminar os mecanismos desnecessários de “feed-back” positivos na economia, modificando de forma estrutural a composição do sistema. O exemplo clássico deste tipo de “feed-back” é a indexação automática dos salários aos avanços da inflação, aumentando continuamente a instabilidade. Finalmente, um exemplo de absorvedor de choques é a política monetária do Banco Central, bastante eficaz, mesmo a curto prazo. Quando corretamente utilizada, as medidas monetárias estabilizam o lado direito da equação de Fisher, simplesmente fixando a taxa de crescimento do lado esquerdo.”*

Em 1911, Fisher publicou o livro *The Purchasing Power of Money*, em [TVEDE, p. 83, op.cit.], cujo tema principal era os efeitos desestabilizadores da inflação e as flutuações na oferta de moeda, dando os passos iniciais no estudo da interação entre o sistema financeiro e o sistema produtivo, antecipando, de certa forma, através de uma equação rudimentar, o modelo de inspiração *keynesiana* [DORNBUSCH, pp. 58-81, (1992)] *IS-LM*, surgido posteriormente e fornecendo uma primeira “explicação” para os ciclos. A equação de Fisher, que na verdade, apenas popularizou a equação, que Simon Newcomb estabeleceu em 1885, pode ser escrita como:

$$MV = PQ$$

onde:

M = oferta de moeda

V = velocidade de circulação da moeda

P = nível geral de preços dos bens

Q = volume de bens transacionados

O que Fisher afirmava era que,

*“os níveis de preços dos bens variam em proporção direta com a quantidade de moeda em circulação e inversamente com o volume de bens transacionados, desde que a velocidade de circulação da moeda permaneça inalterada.”*

Posteriormente, Fisher mostra que um eventual aumento na oferta de moeda, num primeiro momento, provoca uma queda nas taxas de juro, aumentando o volume de bens transacionados e com isto os gastos, fazendo com que as pessoas demandem mais moeda. Isso faria com que as taxas de juro voltassem a crescer, diminuindo dessa forma, o volume de bens. Se a velocidade de circulação se mantiver inalterada, naquele instante, haverá um aumento de preços, para equilibrar o produto MV. Este é um dos primeiros modelos a explicar o aumento da inflação, após uma expansão da oferta de moeda e descreve também, *qualitativamente*, o ciclo de negócios, uma vez que, nenhuma indicação da amplitude, ou duração desse ciclo, pode ser dele extraída. A formalização da teoria geral de Keynes pode ser vista através do que se conhece por curvas IS-LM, representadas em diagramas. A primeira curva, chamada de IS, representa combinações possíveis entre taxas de juros e renda nacional, que mantêm em equilíbrio o mercado de bens e serviços; a segunda, a curva LM, representa as combinações possíveis entre taxas de juros e renda nacional, que mantêm o mercado monetário em equilíbrio. Essas curvas e sua interação representam, em resumo, a relação de equilíbrio entre taxas de juros e produto nacional.

A figura (2.2.1.1) é uma livre interpretação do autor, mostrando de forma simplificada a estrutura dinâmica de como se dá essa interação entre os mercados de bens e o de ativos financeiros. Por exemplo, o crescimento da Renda faz com que cresça a Demanda por Moeda (L), ocasionando o crescimento da Taxa de Juros. Taxas de Juros mais altas diminuem os Gastos e

portanto, a Renda, ou seja, o aumento da Renda tem um efeito contrário sobre si própria, num instante posterior, fenômeno conhecido como de “*feed-back negativo*”, simbolizado pelo sinal negativo ao centro da figura. Esse efeito explicaria, basicamente, o motivo pelo qual o comportamento da Renda não poderia ser sempre crescente. Haveria em algum instante, uma inflexão, invertendo essa tendência crescente; pela mesma razão, essa queda subsequente não poderia perdurar indefinidamente. Entretanto, conhecer e conseqüentemente, prever em que níveis quantitativos das variáveis consideradas se darão tais inflexões é um problema mais difícil de se resolver com este modelo, ou seja, *a periodicidade e a amplitude dos ciclos de negócio* não podem também, ser teoricamente determináveis, através dessa metodologia. Entretanto, processos e mecanismos mais complicados ocorrem nesse modelo, no qual é suposto que os Gastos, as Taxas de Juros e a Renda são determinados conjuntamente pelos mercados de bens e de ativos *em equilíbrio*. A Demanda por Moeda (L) aumenta com o Nível de Renda (Y) e diminui com a Taxa de Juros (i), numa aproximação linear, segundo a fórmula<sup>2</sup>:

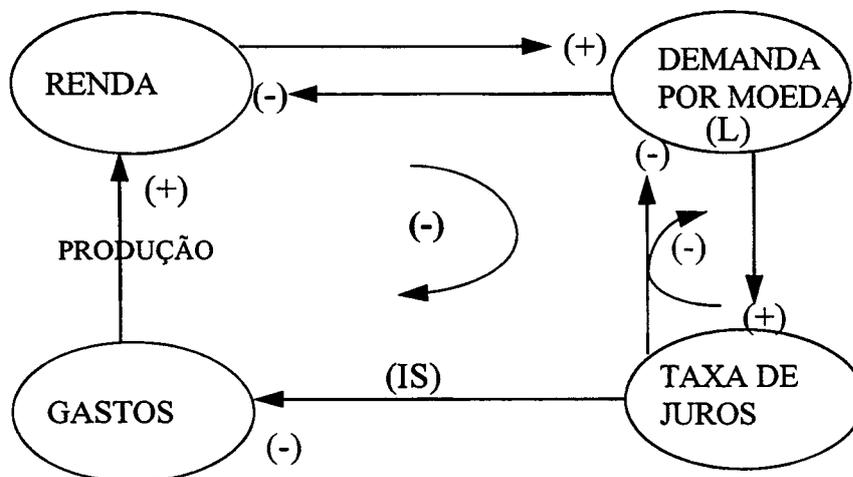
$$L = k.Y - h.i \quad \text{com } h, k > 0,$$

Ou seja, para que haja *equilíbrio*, é necessário que o nível de Oferta de Moeda (M) se iguale à Demanda por Moeda (L), mesmo quando a Taxa de Juros se eleva, provocando uma tendência de queda na Demanda por Moeda. Para que o mesmo se iguale à sua oferta, o nível de Renda tem de aumentar. Por outro lado, esse mesmo aumento da Taxa de Juros tem o efeito de diminuir os Gastos e portanto a produção, conseqüentemente, diminuir a Renda. Nem toda demanda por moeda é com o propósito de dispêndios (fatores e matéria prima), sendo uma parte substancial utilizada para fins financeiros, como títulos ou simplesmente para constituição de uma reserva líquida. Esta drenagem de moeda do circuito da produção é o que Keynes chamou de “*armadilha da liquidez*”, que acaba provocando uma queda na Renda.

---

<sup>2</sup> [DORNBUSCH, P.71, OP.CIT.]

FIGURA (2.2.1.1): Estrutura dinâmica da interação entre o mercado de bens/serviços e o mercado de ativos financeiros:



Fonte: Elaboração própria.

Esses efeitos, variando em amplitude no tempo e, em permanente contraposição, seriam os principais responsáveis pelas flutuações na produção, portanto na Renda, induzindo aos chamados *ciclos de negócio*.

## 2.2.2. TEORIAS E CRÍTICAS SOBRE CICLOS.

*“Cycles are not like tonsils, separable things that might be treated by themselves, but are like the beat of the heart, of the essence of the organ that displays them”*  
Joseph Schumpeter(1939)

Na extensa bibliografia de trabalhos enfocando a dinâmica das variáveis macroeconômicas o princípio fundamental utilizado é o da *aceleração* e sua formulação matemática para uma única empresa, é rigorosamente representada por [KNOX, p. 60, (1985)]:

$$P(t) = K(t) - K(t-1) = a[p(t) - p(t-1)]$$

Na qual:

$P(t)$  = a produção no ano, de bens de capital empregado pela empresa a fim de conseguir um aumento líquido em suas contas de capital.

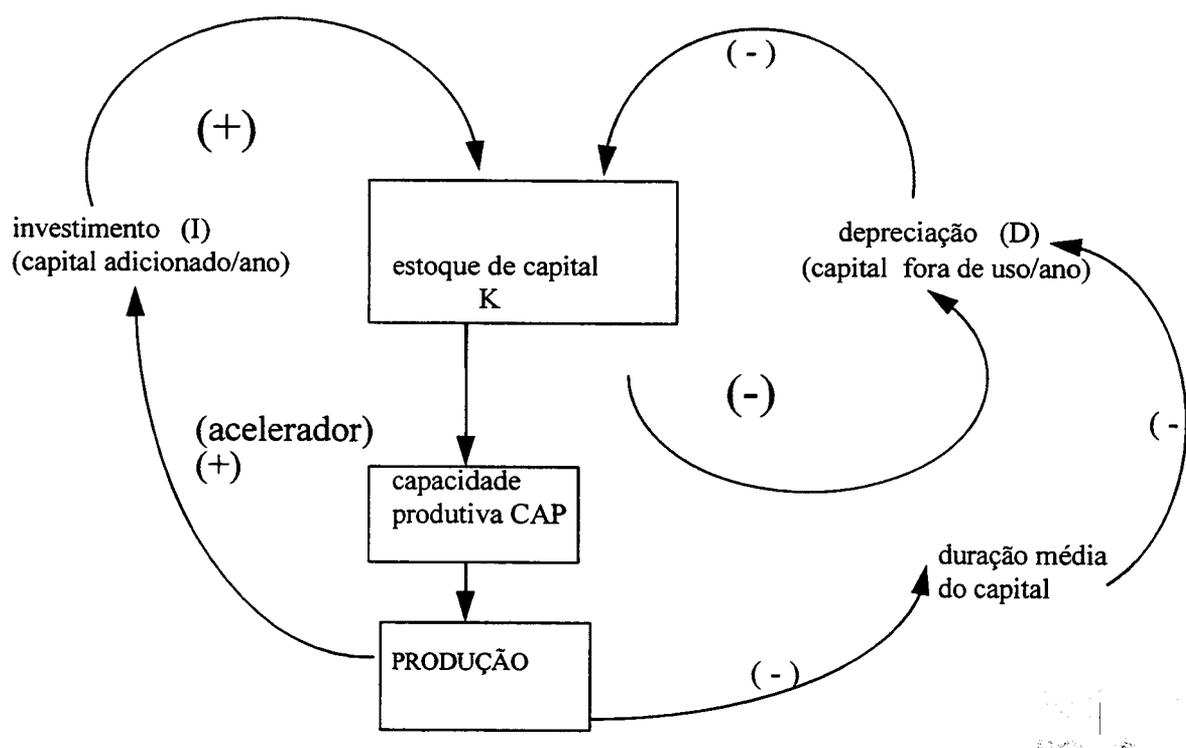
$K(t)$  = o estoque de equipamento de capital da empresa, no instante  $t$ .

$p(t)$  = a produção final ou de produtos acabados da empresa, no instante  $t$ .

$a$  = é o coeficiente de aceleração entre o aumento corrente no estoque de bens de capital e o aumento corrente no fluxo de produção final, produzido com aquele equipamento, assumido em sua versão mais inflexível, como uma constante.

Essa mesma equação pode ser representada num diagrama típico de Dinâmica de Sistemas por:

FIGURA (2.2.2.1): Diagrama tipo dinâmica de sistemas do sistema produtivo:



Fonte: Elaboração própria.

Fazendo uma extrapolação ao nível de uma economia nacional, a capacidade produtiva (CAP) seria o PIB potencial, a produção representaria o produto interno bruto do país ou o PIB. O estoque em capital fixo  $K$ , medido em unidades monetárias, representaria as máquinas, equipamentos e as estruturas usadas na produção de bens e serviços. A variação desta grandeza se dá, positivamente através dos investimentos (I) e, negativamente pela depreciação (D). Essa depreciação representa o desaparecimento do capital construído no passado, através do desgaste das partes de  $K$ , e não da provisão de depreciação (amortização) que as empresas cobrariam para

permitir a substituição do estoque atual quando se desgastassem. Em outras palavras, (D) é a parcela do capital que se transfere para o produto em forma de depreciação, segundo [JOHNSON, p.339, (1985)].

Um modelo macroeconômico utilizando a técnica de *System Dynamics*<sup>3</sup> foi desenvolvido por E. Holland, que o aplicou para a Índia, mas no qual não se observam os fenômenos cíclicos, mostrando apenas, uma tendência de crescimento monotônico para o PNB [HOLLAND, (1963)].

Em sua forma mais simples, o *princípio da aceleração* postula que quando há um aumento no consumo, este acaba induzindo um aumento no investimento, desde que a capacidade produtiva esteja no limite. Em certa maneira, ele é semelhante ao *princípio do multiplicador*, que descreve o efeito que o investimento tem sobre a renda, via dispêndio de consumo, *quando há capacidade excedente*, enquanto que o princípio da aceleração descreve o efeito que o consumo pode ter sobre a renda, via dispêndio de investimento, *quando a capacidade está no limite*. Quando o consumo está em ascensão e a capacidade de produção já é insuficiente, o investimento provavelmente será induzido, pelo efeito acelerador, e por sua vez provocará rendas adicionais, através do efeito multiplicador. Assim, os dois princípios podem atuar conjuntamente, produzindo um efeito maior do que cada um atuando isoladamente. Os autores não estão de acôrdo em relação ao fato de que o princípio da aceleração só teria validade se a economia estiver funcionando à plena capacidade. Tinbergen acha que sim e Clark diz que não [KNOX, Op. Cit.]. Muitos autores têm criticado o princípio da aceleração, porém nenhum acordo geral surgiu dessas discussões, nas quais os principais itens levantados são: a.) quanto às verdadeiras representações das forças determinadoras do investimento induzido. b.) quanto à capacidade excedente. c.) quanto ao investimento de reposição. d.) quanto às expectativas da procura e as questões relativas a preços e lucros futuros.

Segundo [Knox, Op. Cit.]:

*“Não é fácil descobrir a base lógica para o princípio da aceleração. Geralmente é chamado de princípio de aceleração da procura derivada. A teoria da procura derivada, quando aplicada ao investimento, informa-nos que um crescimento no estoque de equipamentos de capital somente continuará se houver, em algum estágio, um aumento no consumo. Mas isto não é o mesmo que dizer, com o princípio da aceleração, que um dado aumento percentual no consumo deve resultar num igual aumento percentual do estoque de equipamentos de capital. Logo surgiu a restrição de que onde existir a capacidade excedente o princípio da aceleração não será válido.”*

A tabela (2.2.2.1), extraída de [HEILBRONER R., p.138, (1972)], ilustra de maneira simplificada o fenômeno associado ao *princípio da aceleração*, bem como a natureza fortemente

---

<sup>3</sup> Desenvolvido por Jay Forrester, na década de sessenta, no MIT, para o estudo da dinâmica industrial.

*não linear* do fenômeno envolvendo o investimento, o estoque de capital e as vendas ( $\equiv$  renda). A tabela representa os dados de uma indústria fictícia, na qual as vendas estão em ascensão e equipamentos plenamente utilizados. Supõe-se que esta indústria necessita de um equipamento de capital duas vezes maior, em valor monetário, do que seu volume anual de vendas, a fim de produzir e que 10% de seu equipamento de capital se desgastam e devem ser repostos a cada ano, ou seja, o equipamento médio dura 10 anos. Pela tabela, pode-se verificar que esta indústria está em equilíbrio com vendas de 100 unidades, com um estoque de capital de 200 unidades e reposição de 20 unidades por ano. Supondo que suas vendas se elevem 20%, isto é, para 120 unidades, a empresa necessita de 240 unidades de capital, que representa 40 unidades do que ela dispõe e portanto terá de encomendá-las. A procura por bens de capital eleva-se de vinte (reposição), para 60 unidades, representando um aumento de 200% no investimento total. Se as vendas continuarem crescendo para 130 unidades no ano seguinte (aumento de 8,3%), suas necessidades de reposição não serão afetadas, uma vez que o equipamento novo não se desgastará senão em 10 anos e a necessidade de novo capital será de 20 unidades, perfazendo um total de investimento de 40 unidades monetárias. Isto representa uma *queda de 33%* no investimento total, em relação ao ano anterior, *mesmo com as vendas crescendo 8,3%*. No instante em que a taxa de aumento do consumo começa a cair, o volume absoluto do investimento induzido também cai. Isto explica as grandes oscilações que ocorrem no setor de bens de capital, comparado com outros setores.

O efeito multiplicador da renda poderia ser observado, se forem considerados no modelo, as outras empresas, desde que tenham capacidade ociosa, que interagem com a primeira, necessárias à sua produção e que seriam acionadas via dispêndios provenientes dos investimentos da primeira indústria, provocando rendas adicionais. Concluindo, o *acelerador* só faz sentir os seus efeitos, *quando não há* capital desempregado, enquanto que o efeito *multiplicador* só faz sentir os seus, *quando há* capital desempregado. Isto dá uma pálida idéia da complexidade da dinâmica do processo produtivo, quando transportado ao país como um todo.

TABELA (2.2.2.1): Modelo simplificado do princípio da aceleração

Ano	Vendas	K existente	Knecessário =2xVendas	Reposição	Investimen to induzido	Investimen to total( $\Delta\%$ )
1	100	200	200	20	-	20
2	120	200	240	20	40	60
3	130	240	260	20	20	40
4	135	260	270	20	10	30
5	138	270	276	20	6	26
6	140	276	280	20	4	24
7	140	280	280	20	-	20

Fonte: [HEILBRONER R., p.138, (1972)].

Diversos autores procuram “explicar” as causas primárias das oscilações econômicas. De acordo com os trabalhos de Schultz H., Tinbergen J. e Ricci U. [TVEDE, pp.131-132, op.cit.], o fenômeno cíclico curto seria devido, principalmente, ao efeito “teia-de-aranha”, que todo produtor agrícola em qualquer parte do mundo conhece muito bem, sem ter a menor idéia da existência desta teoria. Basicamente ocorre quando um dado número de produtores competidores, insatisfeitos com os preços de seus produtos, decide parar a sua produção, criando escassez, conseqüentemente elevando os preços na frente. O fenômeno se repete, sistematicamente, criando os ciclos de pequena duração.

Outro fator de oscilação de curto período é o chamado “*Sciffabaucycles*”, que foi estatisticamente comprovado por Johan Einarsen ao estudar a indústria de construção naval na Noruega em 1938. O ciclo se desenvolve essencialmente provocado pela “defasagem” temporal

existente entre as variáveis investimento, a efetiva produção e as encomendas feitas pelo mercado.

Existem diversos modelos, que procuram explicar os ciclos de negócios, dentre os quais se destacam o modelo de Keynes e o de Joseph Schumpeter. Em 1935, Keynes deu a primeira explicação satisfatória dos mecanismos essenciais de que depende o nível geral da atividade econômica. O ponto de partida era de que tal nível depende do ritmo de compra dos bens, dividindo-os em bens de consumo e bens de capital, sendo este último equivalente ao índice de investimento. Segundo suas palavras [KEYNES, p.83, (1982)]:

*“O produto das vendas forma-se pela adição de duas quantidades - a soma que será despendida em consumo, quando o emprego está a certo nível e a soma que se destinará ao investimento. Os fatores que determinam estas duas quantidades são bastante diferentes[...].”*

O dinheiro disponível para comprar todos esses bens não é dado automaticamente pelos salários e lucros reinvestidos para isso, pois, normalmente, parte desse dinheiro é economizado. Portanto, o sistema apresentaria uma queda e pararia se não houvesse a constante injeção de mais demanda, sob forma de novo investimento, situação essa, aparentemente enfrentada hoje pelo Japão. Por outro lado, tanto o nível de atividade econômica, quanto o nível de emprego dependem do investimento, que por sua vez depende da expectativa de lucro, a qual depende da tendência, atual e esperada, da atividade econômica. Assim, não apenas a atividade econômica depende do índice de investimento, mas este depende da atividade econômica. A busca permanente no instante correto e, frequentemente com pouco sucesso, dos níveis razoáveis dessas variáveis macros, ora subestimando seus valores, ora superestimando, seria a causa fundamental da existência dos ciclos de negócio. Dentro de sua teoria, Keynes introduz a conhecida variável “*propensão ao consumo*”, definida como [KEYNES, op.cit., p.84]:

*“a relação funcional  $\chi$  entre  $Y_w$  (determinado nível de renda medida em unidades de salário) e  $C_w$  (o gasto que, para o consumo, se toma do dito nível de rendimento). O montante que a comunidade gasta em consumo depende: i-) em parte, do montante da sua renda; ii-) em parte, de outras circunstâncias objetivas que o acompanham; e iii-) em parte, das necessidades subjetivas, propensões psicológicas e hábitos dos indivíduos que a compõem, bem como dos princípios que governam a distribuição da renda entre eles.*

*Os motivos que impelem a gastar caracterizam-se por sua interação e uma tentativa de classificá-los pode levar a divisões arbitrárias.”*

É interessante realçar a permanência e a atualidade do esquema explicativo, derivado da interação dos mercados de bens e de ativos financeiros, ou seja, dos mecanismos existentes entre o *sistema financeiro e sistema produtivo*, que a propósito dos recentes acontecimentos econômicos, ocorridos em Janeiro de 1999, no Brasil, escreve C. Furtado [FURTADO, (1999)]:

*“[...] O crescimento econômico, que tem sido considerável nos últimos decênios, engendrou uma sociedade com graves distorções e sujeita a crises intermitentes de balança de pagamentos.[...]A estratégia de estabilização adotada pelo governo no último quinquênio ignorou esplendidamente essa realidade. Sem dúvida, a instabilidade vinha reduzindo a governabilidade do país desde os anos 70, quando mudou a conjuntura internacional. O primeiro passo da nova política consistiu em tirar proveito do aumento considerável de liquidez internacional. Deu-se mais elasticidade à oferta interna de bens de consumo e inverteu-se a posição do balanço comercial, que, de positivo, passou a ser negativo. Isso favoreceu a massa de consumidores, o que produziu dividendos políticos consideráveis. Mas, como era de se prever, logo se manifestou o desequilíbrio na balança de pagamentos. À diferença do ocorrido no passado, quando se enfrentava o desequilíbrio manipulando o câmbio, privilegiou-se a estabilidade de preços facilitando o endividamento externo de curto prazo e elevando de forma exorbitante as taxas de juros. A política de juros altos provocou uma redução dos investimentos produtivos e uma hipertrofia dos investimentos improdutivos. [...] A recessão tornou-se inevitável.”*

O modelo de Schumpeter, para explicar os mesmos ciclos, está calcado na idéia de que estes se devem essencialmente aos “*entrepreneurs*” e fatores exógenos, em particular ao que chamou de novos *empreendimentos* ou *inovações* [SCHUMPETER, (1982) e (1989)], que aparecem aos vagalhões, provocando um *boom*. Por que os empresários aparecem, não de modo contínuo, ou seja, individualmente, a cada intervalo escolhido apropriadamente, mas aos magotes? Segundo suas próprias palavras,

*“exclusivamente porque o aparecimento de um ou de poucos empresários facilita o aparecimento de mais outros, em número sempre crescente e progressivamente menos qualificados.”*

Esta fase de prosperidade e altos investimentos se seguiria inevitavelmente à fase seguinte, de depressão, devido à superprodução, o efeito *teia-de-aranha econômico*, já

mencionado.

A objeção a ser levantada é quanto ao alcance dos fatores “explicativos” apontados, tanto por Keynes, quanto por Schumpeter, na descrição dos ciclos. Sem o propósito de alimentar qualquer teoria conspiratória, a ação dos indivíduos em ambos os casos, poderia ser resultante, não de uma “decisão de livre-arbítrio”, tomada num particular instante de suas trajetórias, mas consequência de uma “força maior”, exercida pelo sistema a que pertencem, gerada espacial e temporalmente, num local fora do “alcance da inteligibilidade” desses indivíduos. O conhecido *paradigma da maximização* do comportamento racional dos agentes, citado anteriormente, induziria a cada um, qual o caminho a tomar em cada situação, caminho este determinado e ditado pelas condições e restrições do sistema como um todo. Robert Eisner, num estudo, no qual procurou determinar as condições em que o empresário decide fazer o investimento, afirma [EISNER, p.87, (1985)]:

*“[...] posso observar que me tenho engajado, por algum tempo, neste jogo de procurar descobrir o que determina o investimento privado. Há uma década atrás, entrevistei executivos empresariais de mais ou menos uma dúzia de grandes empresas do meio-Oeste e do Leste, e pedi a esses executivos que me dissessem o que determinava seus investimentos. Esse foi um estudo pessoalmente interessante, porém confirmou minha opinião de que pedir a homens de negócios que vasculhem suas próprias mentes não é a melhor maneira de descobrir por que eles investem. É, pelo contrário, como tentar descobrir as causas da doença pedindo aos doentes as suas explicações sobre o que causou suas doenças.”*

Isso, de certa forma, justifica o comportamento dos empresários, *aos magotes*, semelhante à um enxame e, justifica também o porquê de se consumir *mais* ou *menos* em um dado instante, pois esta é a melhor *trajetória*, aparentemente *paretiana*, mas que na realidade, está sendo *direcionada* pelo sistema econômico, naquele momento. Trabalhos recentes utilizando a Teoria dos Jogos procuram abordar a questão fundamental sobre a racionalidade das decisões individuais, frente ao complexo ambiente representado pelo comportamento de outros atores. Infelizmente, até o momento, essa ambiciosa questão permanece sem resposta, uma vez que o “*comportamento de pessoas ditas “inteligentes” e o comportamento “esperado” pelos teóricos dessa abordagem, por si só, se constitui num tópico à parte desse tipo de estudo e pode ser*

*considerado, para dizer o mínimo, intrigante*<sup>4</sup>. Certas classes de teorias econômicas, batizadas por P. Samuelson de “*mesa de bilhar*” [SAMUELSON, p.289, (1986)], “*explicam*” os fenômenos oscilatórios, através da determinação de um ponto de inflexão do ciclo, a partir de considerações como: “*o sistema bate no teto do pleno emprego, voltando em rebote, por assim dizer*”. Outro exemplo deste tipo, citado na mesma referência, é a teoria de Hawtrey das “*taxas mínimas de reserva dos bancos contra as quais o sistema dá o rebote*”. Tais explicações seriam equivalentes em termos epistemológicos, a afirmar que o movimento de uma determinada engrenagem de um relógio seria devido ao movimento da engrenagem vizinha à qual ela está acoplada, o que estaria correto dentro de uma perspectiva espaço-temporal míope, uma vez que neste caso seria a única explicação teórica possível, na ausência de uma visão dialética no sentido marxista, ou seja, do relógio como um todo<sup>5</sup>. Recorrendo a um outro paralelo da mecânica, seria como um grão de poeira num ciclone, tentando descrever seu movimento através do movimento das partículas ao seu redor, desconhecendo e sem condições de conhecer o principal causador de seus infortúnios, muito distante de si, no caso, a *força de Coriolis*, derivada da condição *não inercial* do sistema Terra, isto é, do seu movimento de rotação. A mesma força causa, também, o fenômeno experimentado pelo pêndulo de Foucault, que um modelo fenomenológico, “*explicaria*” como sendo a tendência do pêndulo a se desviar à direita ou à esquerda de sua trajetória principal, dependendo do hemisfério em que se encontra. A citação de T.S. Eliot, em *Murder in the Cathedral*, Part I, (1935): “*I know that history at all times draws strangest consequence from remotest cause*”, adequa-se perfeitamente, nessa questão. Outro exemplo, de [COHEN, pp.400-405, (1994)], concernente ao mesmo nível de preocupação epistemológica, seria a pergunta: *por que o carbono tem peso atômico 12?* A resposta: *porque tem seis prótons e seis neutrons*, embora correta, não acrescenta muita informação à verdadeira questão proposta.

A introdução da variável *keynesiana*, “*propensão ao consumo*”, “*preferência à liquidez*”, “*expectativas racionais*” ou mesmo, posteriormente Roy Harrod, em *Toward a Dynamic Economics*, do conceito “*nível de satisfação empresarial*” seria equivalente a conceituar a citada

---

<sup>4</sup> [SIMONSEN, p.206, (1988)]. Vide também [WALDROP M.M., (1992)].

<sup>5</sup> Equivalentemente, observar o problema a uma “boa distância”, segundo Lévi-Strauss, em *Anthropologie Structurale* [CALABRESE O., (1987)].

propensão das partículas de um fluido tenderem a executar o movimento de rotação, toda vez que estiverem num ciclone. A hipótese de *Schumpeter*, para explicar os ciclos, através do efeito “*entrepreneurs*”, surgindo *como enxames*, não deixa de ser uma simples *descrição fenomenológica* do processo. Nesse particular, pode-se citar a crítica formulada por Emil Lederer, em *Konjunktur und Krisen* [SCHUMPETER, p.142, (1982)]:

“ *insatisfatório porque não tenta explicar por que os empresários aparecem periodicamente por assim dizer, em enxames, quais são as condições nas quais eles podem aparecer e se sempre aparecerão e por que, se as condições lhes forem favoráveis*”.

O próprio Schumpeter, na mesma referência acima, reconhece a debilidade teórica de sua “*explicação*” dos ciclos de negócio, ao afirmar:

“*...Depois, há a objeção formulada por Loewe: minha teoria não explica a periodicidade das crises...Mas isso nenhuma teoria pode explicar numericamente porque obviamente depende dos dados concretos do caso individual.*”

E também a citação de [HEILBRONER R., p.277, (1996)]:

“*A depressão era, de fato, um teste das idéias de Schumpeter. Se o capitalismo sugava sua energia das inovações dos empreendedores, por que lhe faltou estímulo nos anos negros da década de 1930? Keynes dizia que as depressões refletem o estado das expectativas dos empresários, mas sua teoria não requeria que ele explicasse por que seus “espíritos animais” entravam em baixo astral. Schumpeter teve uma tarefa mais difícil porque se propôs a explicar o boom através das inovações e do enxamear dos empresários. A depressão interminável, por conseqüência, exigia os motivos pelos quais as novas inovações não apareciam a tempo. (...), se bem que o fenômeno de enxamear, como causa dos ciclos econômicos, nunca foi bem esclarecido.*”

A utilização dos termos “*enxamear*” e “*espíritos animais*”, respectivamente, por Schumpeter e por Keynes, para o comportamento dos empresários, revela as suas crenças da relevância de mecanismos e manifestações fortemente irracionais e “*naturais*”, no processo de investimento, hipóteses sobre as quais, também se apóia este trabalho.

Encontram-se, frequentemente, modelos com forte viés tautológico “*explicando*” os ciclos econômicos, descrições de epifenômenos ou redundâncias do ponto de vista epistemológico, ou até frases do tipo “*prices can fall because have been falling*”, atribuída a Alfred Marshall, em

[TVEDE, pp.68-69, (1997)]. Outros dois exemplos análogos [GARDNER, pp.346 e 362, (1978)], a primeira concernente às relações dinâmicas existentes, entre variáveis macroeconômicas, e a outra, para “descrever” os ciclos de negócio (modelo de Metzler):

*“[...]Por exemplo, se os lucros forem altos no presente em virtude de os negócios terem atingido um nível de pico, em seguida a uma recuperação de depressão anterior, com ameaças no ar de que o “boom” estaria próximo de seu fim, os planos de investimento podem começar a ser reduzidos, independentemente de quanto os lucros correntes possam ser elevados. No entanto, à medida que os homens de negócio sejam incapazes ou não possam prever o futuro, além do permitido pela simples observação do presente, a relação proposta entre a produção agregada e o investimento se torna mais plausível. [...] Em algum ponto, tais inventários (estoques) serão restaurados. Quando isto ocorre, o investimento em inventários não mais será positivo e a renda cairá em direção ao seu nível de equilíbrio. Porém, tal queda na renda provocará baixa nas vendas e os inventários começarão a acumular-se. Isso conduz a uma redução adicional da produção, à medida que os produtores tentam utilizar-se de seus estoques excedentes, em lugar de produzir tudo que esperam vender. Esta tentativa também será automaticamente anulada, pois reduz a renda e, assim, diminuem ainda mais as vendas. Todavia, novamente, há um limite em tal comportamento: os inventários excedentes finalmente serão esgotados, mas somente após a renda ter caído abaixo do seu nível de equilíbrio.”*

A descrição acima lembra, inevitavelmente, o que maliciosa e ironicamente, é chamada de “*análise sobe-e-desce*”, comumente encontrado em relatórios técnico-econômicos e, até em trabalhos acadêmicos. Como foi mencionado anteriormente, na falta de uma teoria mais abrangente, poderia ser até aceitável, como uma primeira aproximação fenomenológica do processo, mas é, epistemologicamente, equivalente à descrição de uma porção de rolhas, flutuando n’água, cuja superfície se encontra perturbada por ondas, na qual, um observador instalado numa rolha, ao constatar a altíssima correlação existente entre a sua dinâmica e a das rolhas nas adjacências, será fortemente induzido a equivocar-se sobre as reais causas do seu próprio movimento. Conclusões diversas, certamente, serão obtidas por um observador distante, montado num *referencial inercial*, portanto, livre das oscilações, que movimentam as rolhas.

O desequilíbrio entre a oferta e a demanda de bens e serviços, condição quase sempre associada às causas das flutuações econômicas, pode ser decorrente, por exemplo, de uma crise de superprodução e subconsumo, coincidentes no tempo com as fases iniciais da recessão. Analogamente, nas fases de retomada de crescimento, também se observa novo estado de

desequilíbrio entre a oferta e a demanda, no qual a produção é insuficiente para atendimento da demanda. Em ambos os casos, a procura pelo estado de equilíbrio é realizado através da mudança dos preços relativos da economia, ou, como diz [SANDRONI P., p.77, (1996)]: “*As teorias endógenas procuram as causas do ciclo no próprio processo econômico, visando a demonstrar, basicamente a formação e a transmissão de um processo cumulativo de alta ou de baixa dos preços e as razões da suspensão desse processo.*” Entretanto, esse mecanismo de ajuste tem seus problemas teóricos, tanto é que Walras foi duramente criticado <sup>6</sup>, a propósito de sua “explicação” da mudança de preços relativos:

*“como é que Walras pensava funcionarem seus mercados? [...] Quem decide que um preço deve ser mudado? Walras enfrentou essas questões, mas a resposta que lhes deu é muito peculiar. Dizia que os agentes das transações não fazem preços, eles os aceitam. Assim, os preços têm que ser feitos por outros. Por algum funcionário independente. Mas como dar existência a tal funcionário? Ele não explicou.”*

No Apêndice A deste trabalho encontra-se um resumo da teoria dos ciclos econômicos desenvolvida por Michal Kalecki, de inspiração fundamentalmente *keynesiana*. Mostra-se, que a equação (23') do ciclo econômico, pode ser escrita como:

$$i(t+\theta) = \varepsilon.i(t) + \mu.\Delta i(t-\omega)/\Delta(t) \quad (23')$$

onde:

$i$  = desvio do investimento  $I$ , em relação à depreciação  $\delta$  ( $= I-\delta$ ).

$\varepsilon$  = coeficiente que representa a influência sobre as decisões e propensões ao investimento, exercida pela poupança e também o efeito do aumento de equipamento. Este coeficiente é sempre positivo e menor do que a unidade.

$\mu$  = coeficiente representando a influência da taxa de modificação dos lucros e da taxa de modificação da produção. Este coeficiente é sempre positivo.

Demonstra-se, no Apêndice A, que essa equação representa oscilações periódicas do investimento em torno do nível de depreciação. Considerando-se o instante ( $t$ ), como sendo o

---

<sup>6</sup> por J. Hicks, em *Perspectivas Econômicas*, RJ, Zahar, p.11, 1977 [BURLAMAQUI, p.18, (1993)]

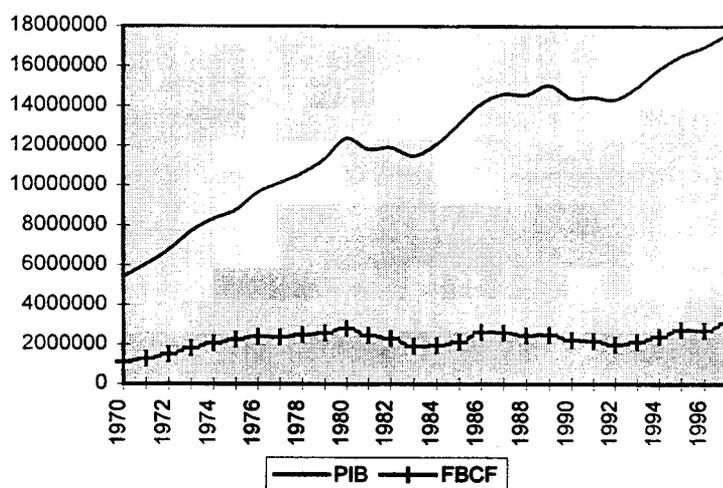
presente, o investimento no futuro ( $t+\theta$ ), dependerá tanto do investimento realizado no presente, quanto da variação desse investimento no passado ( $t-\omega$ ). Essas flutuações no investimento serão acompanhadas por flutuações de outras grandezas macroeconômicas, como a renda, o nível de emprego e a produção. Uma *consequência muito importante* desta equação é que o equilíbrio estático só ocorre no futuro, se o investimento presente estiver no nível da depreciação e se, além disso, seu nível não se modificou no passado recente, ou seja, *mesmo com investimentos constantes por alguns anos, poder-se-á observar oscilações futuras nas variáveis macroeconômicas*. Este é um resultado aparentemente contraditório, que também se observa, no modelo teórico proposto na seção (3.3.6).

O gráfico (2.2.2.2) derivado da tabela (2.2.2.2) mostra uma nítida correlação, ano a ano, entre os comportamentos oscilatórios das variáveis FBCF e do PIB, corroborada por teste estatístico. Tal resultado não é surpreendente, considerando-se que a FBCF representa parcela significativa do próprio PIB, sendo uma das componentes da *demanda agregada*. Entretanto, ao se construir uma regressão linear direta do PIB, como função da FBCF, verifica-se que o coeficiente desta regressão ( $R^2$ ) nas vizinhanças de 0,5, sugerindo outros efeitos contribuindo, no comportamento geral, aliás, previstos na equação (23') do modelo de *Kalecki*, quando ele relaciona o investimento no futuro dependendo, não apenas do investimento presente, como também de variações desse investimento no passado, repetindo e realçando as afirmações já feitas acima. Nas palavras de [KALECKI M., p.159, op.cit.]:

*“Afirmamos também que o montante da produção e do consumo apresentam flutuações relativas menores que o investimento.”*

Fenômeno que pode ser visualizado, através do gráfico (2.2.2.2), sugerindo a presença de outros fatores interferindo na dinâmica oscilatória resultante.

GRÁFICO (2.2.2.1): Brasil - PIB E FBCF em Cz\$1000 de 1980.



Fonte: tabela (2.2.2.2)

Entretanto, como foi mostrado no Apêndice, a dedução da equação dos ciclos econômicos exige, como hipóteses iniciais, de uma série aproximações *reducionistas*, de ambos os tipos mencionados, além da obrigatoriedade do estabelecimento de premissas e da imposição, *ad hoc*, de relações determinísticas de causa e efeito, em diferentes períodos, entre as variáveis macroeconômicas. Nesse sentido, é apropriada a citação de Robert Heilbroner (op.cit., p.308, (1972):

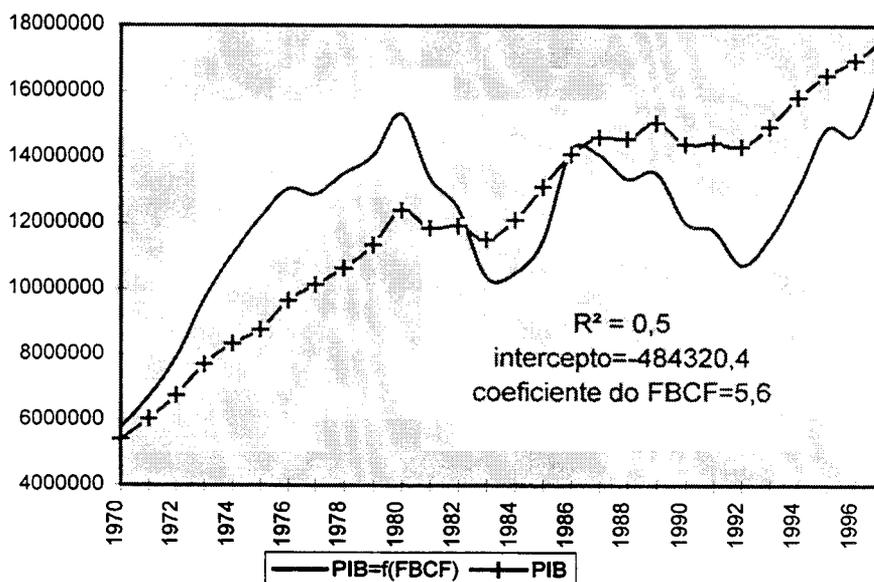
*“Sugeriram-se muitas causas para o ciclo de negócios, mas nenhuma é inteiramente satisfatória na explicação de seu caráter cíclico ou na explicação de seu período de 8 a 10 anos.”*

TABELA (2.2.2.2): Brasil - PIB e FBCF em Cz\$1000 constantes de 1980.

PIB, K e FBCF em Cz\$1000 constantes de 1980.			
ANO	PIB	FBCF(%PIB)	FBCF
1970	5418500	0,2057	1114585
1971	6036771	0,2131	1286436
1972	6758074	0,2222	1501644
1973	7700322	0,2358	1815736
1974	8335945	0,247	2058978
1975	8762865	0,2577	2258190
1976	9654222	0,2502	2415486
1977	10129966	0,2356	2386620
1978	10629123	0,2351	2498907
1979	11348343	0,2288	2596501
1980	12399842	0,2277	2823444
1981	11853391	0,2088	2474988
1982	11929103	0,1937	2310667
1983	11515673	0,1684	1939239
1984	12104401	0,1619	1959703
1985	13114496	0,1632	2140286
1986	14108655	0,1866	2632675
1987	14617818	0,178	2601972
1988	14577572	0,1696	2472356
1989	15058403	0,1662	2502707
1990	14410892	0,1551	2235129
1991	14459587	0,1517	2193519
1992	14340555	0,1398	2004810
1993	14941122	0,1438	2148533
1994	15836561	0,1527	2418243
1995	16507465	0,1662	2743541
1996	16963071	0,16	2714091
1997	17587312	0,175	3077780

Fontes: [IBGE, (1990)], [INDICADORES DIESP, (1999)], [ALÉM, (1997)].

GRÁFICO (2.2.2.2): Brasil - PIB como função linear da FBCF(em Cz\$1000 constantes de 1980).



Fontes: tabela (2.2.2.2) e elaboração própria.

Pelos argumentos expostos até agora, torna-se justificável a utilização de outras abordagens, tanto teóricas como empíricas, que possam observar e descrever os fenômenos dinâmicos da macroeconomia, com uma lente de aumento às avessas, isto é, observando-se os fenômenos à distância. Dessa forma, procurar-se-á ignorar as *particularidades* e as interações a partir de relações e da dinâmica espaço-temporal locais, “*das adjacências*”, que obrigam a utilização de forma mais intensa, da *navalha reducionista de Ockham*, nos processos e *mecanismos específicos*, entre os agentes. Justificam também plenamente a utilização de outras abordagens, mesmo que, ainda, pouco sedimentadas e que são ignoradas pela economia ortodoxa, habituada ao raciocínio e metodologia, de longa data, estabelecidos. *Ipsa facto*, vale lembrar as citações de Michel Serres na Introdução e o de Karl Popper, concernente ao espírito com que este trabalho foi realizado [POPPER, pp.335, (1995)]:

*“Todas as teorias são intentos; são hipóteses tentativas, postas à prova para ver se funcionam bem; e todas as corroborações experimentais são simplesmente resultados de provas empreendidas com espírito crítico, com a intenção de descobrir em que erram nossas teorias.”*

Pode-se citar como exemplo das diversas “posições da lente *zoom*”, ou níveis epistemológicos explicativos, que uma pesquisa fundamental experimental, [GLEISER, p.12, (28/02/1999)] é a conhecida indagação, que atormenta, ainda, os físicos: “*Por que as coisas caem?*”. Aristóteles ofereceu uma explicação descritiva, do “*porquê*”, dizendo que “*todos os objetos da Terra tendem a voltar ao seu lugar de origem*”, isto é, a Terra. Galileu foi mais além, descrevendo “*como*” os objetos caem e atribuiu o movimento dos planetas *à uma inércia circular, pela qual os objetos celestes têm a tendência de se mover em círculos ao redor do Sol*. René Descartes sugeriu que objetos celestes são *carregados em seus movimentos por “vórtices”, ou ciclones, em uma substância que banha o cosmos, como rolhas girando em torno de um ralo*. O astrônomo Johannes Kepler sugeriu que do Sol emanava uma espécie de força magnética, que agia sobre os planetas, numa “*ação à distância*”, determinando suas órbitas, que ele mostrou serem elípticas. Sir Isaac Newton, em sua teoria da gravitação universal, mostrou como as mesmas leis da física agem, tanto sobre os objetos na Terra, quanto sobre os celestes. Mesmo que mais sofisticada, a teoria de Newton descrevia o “*como*” da gravitação, não o “*porquê*”. Já no início deste século, Einstein propôs uma nova teoria da gravitação, que prescindia do conceito de “*ação à distância*”, introduzindo um outro, *o da deformação da geometria do espaço-tempo (espaço de Minkowsky)*, que seria tanto maior, quanto maior fosse a massa do objeto causador dessa deformação. Apesar da sofisticação e da generalização dessas teorias, fazendo com que as descrições do fenômeno gravitacional se tornem mais e mais precisas, em todas as escalas, permanece, ainda, a pergunta do “*porquê*” da deformação do espaço-tempo de Minkowsky.

### 2.2.3. MODELOS EXÓGENOS E ENDÓGENOS DE CICLOS ECONÔMICOS.

A idéia de que os mecanismos de mercado têm intrinsecamente uma dinâmica instável, como afirmava Keynes, e anteriormente, Marx, na tentativa preliminar de abordagem das crises internas do desenvolvimento capitalista, tem despertado pouco interesse nos estudos de agregados econômicos nos últimos vinte e cinco anos [BOLDRIN M., p. 8, (1992)] e [ABRAHAM, p.122-131, op. Cit]. A estratégia dominante para o estudo de ciclos de negócio tem sido assumir que, na

ausência contínua de choques exógenos, a economia tende a um estado de crescimento estacionário, em razão da hipótese assumida, da natureza intrínsecamente estável e tendente ao equilíbrio, do sistema econômico. Estudos recentes, entretanto, têm ressuscitado as idéias de que as flutuações dos agregados poderiam existir, mesmo na ausência de choques estocásticos na economia, exibindo um caráter endógeno para esses fenômenos. A hipótese endógena para os ciclos de negócio, na realidade, não é nova. De fato, os últimos modelos formais dos ciclos de negócio foram desse tipo, incluindo os conhecidos modelos<sup>7</sup> propostos por J. Hicks, N. Kaldor e R. Goodwin [HICKS, (1949)], em [ABRAHAM-FROIS, (1995)], sendo que, o primeiro modelo a introduzir explicitamente a não-linearidade nos fenômenos econômicos foi devido a N. Kaldor: *A model of the trade cycle*, em *Economic Journal*, (50), (1940).

Após os anos cinquenta, entretanto, os modelos dominantes para explicar as flutuações cíclicas derivam, essencialmente, da metodologia de Slutsky-Frisch-Tinbergen, dos “impulsos” estocásticos exógenos, que através de um “mecanismo de propagação”, transformam os tais “impulsos” em padrões oscilatórios, através de “filtros” existentes no sistema econômico. Existem pelo menos três razões da maior popularidade dos modelos exógenos sobre os endógenos, aparte, é claro, a da visão reconfortante de que a dinâmica do mercado seria, fundamentalmente, um processo auto-estabilizante. Primeira, é que ciclos endógenos são essencialmente representados por fenômenos não-lineares, dificílimos de serem tratados matematicamente, enquanto que a abordagem através de choques exógenos permite aproximações lineares, bem mais amigáveis tanto do ponto de vista analítico, quanto da aplicação de testes empíricos. Segunda, foi que se supôs que a hipótese de ciclos endógenos tivesse sido refutada, através de testes empíricos, ignorando as advertências de Popper a propósito da *falseabilidade* de uma teoria. Ciclos representando séries temporais de agregados econômicos podiam ser, “convincentemente”, bem representados estatisticamente, por modelos lineares de “pulsos” estocásticos. Estes geram flutuações periódicas regulares naqueles agregados e, na ausência de tais pulsos, o sistema retorna comportadamente ao estado estacionário<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Vide Apêndice B.

<sup>8</sup> segundo Adelman e Adelman, em *The Dynamic Properties of the Klein-Goldberger Model* (1959), citado por [BOLDWIN, p.9, op. Cit].

Os choque estocásticos forneceriam ao sistema<sup>9</sup>,

*“(...) a energia necessária para manter as flutuações; eu creio, além do mais, que isso permite uma síntese interessante entre a visão estocástica e a concepção repousante sobre leis dinâmicas (pré)determinadas.”*

Demonstrações desse tipo pareciam “provar”, empiricamente, o caráter intrinsicamente estável das relações econômicas. Hoje se sabe que tais flutuações estão longe de serem periódicas e a aparente “regularidade” dos ciclos pode se transformar em um estado de oscilações *caóticas*, inexplicáveis através de modelos lineares do tipo acima, situação muito semelhante à insuficiente teoria linear de Landau, para explicar o turbilhonamento por meio de uma combinação de infinitos “modos normais” de vibração do fluido, como foi visto anteriormente. Por outro lado, sistemas dinâmicos determinísticos podem gerar uma dinâmica caótica, que pode parecer muito irregular, mas que pode conter funções autocorrelacionadas e espectros de frequência, que “reproduzem” com boa aproximação, aqueles estados provenientes de um modelo “estável” estocástico e linear. Hoje é de aceitação geral, o fato de modelos lineares de estabilidade apresentarem, em alguns casos, um ajuste estatístico melhor que os não lineares, não significa que a hipótese de ciclos endógenos pode ser abandonada e que um outro modelo não linear, levando a um ajuste melhor ainda, não possa ser encontrado. Assim J. Blatt (1978), na referência anterior, mostrou a equivalência estatística entre o modelo endógeno de Hicks e um modelo linear autoregressivo, para ajustar os dados atuais do produto nacional bruto americano, mostrando a possibilidade de que a “realidade linear” é, na verdade, um caso particular da “realidade não linear”. Segundo as palavras de G. Abraham-Frois e Edmond Berrebi [ABRAHAM, p.vii, (1995)]:

*“Mesmo se supusermos que os mercados estejam em equilíbrio sob a ação de agentes otimizadores, não é senão em condições muito particulares, que teremos uma convergência do sistema para um estado regular de crescimento equilibrado a taxas constantes. [...] Os desenvolvimentos (teóricos) contemporâneos, que vamos apresentar aqui tendem a mostrar que a partir do momento em que os agentes econômicos têm a escolha entre investir ou reter a moeda, ou investir em trigo duro ou mole, a ocorrência de equilíbrios do tipo ponto-de-sela, parece ser a regra.*

---

<sup>9</sup> segundo Frisch, *Propagation Problems and Impulse Problems*, p.197-198, (1933), em [ABRAHAM, p.59, op. Cit]:

Finalmente, a terceira razão para a baixa popularidade dos modelos endógenos foi o fato dos primeiros modelos utilizando o princípio da instabilidade intrínseca, nas relações macroeconômicas, terem se baseado em um arcabouço e argumentos pouco convincentes do ponto de vista metodológico. O sucesso obtido com a utilização de modelos lineares estáveis, consistentes com o celebrado princípio de otimização dos agentes econômicos, parecia para a maioria dos economistas, incompatível com o rumo possivelmente instável e caótico, que a economia poderia tomar, como consequência de fenômenos causadores, não proporcionais a esse estado de desequilíbrio.

Resumindo, os testes estatísticos recentemente propostos, para verificar a não-linearidade e o caráter endógenamente instável dos ciclos, baseados em testes não-paramétricos, concluíram que as séries temporais de agregados econômicos existentes, são insuficientes para se chegar a uma conclusão definitiva sobre a estabilidade intrínseca ou não, do sistema econômico, permanecendo a questão, ainda na vanguarda das pesquisas sobre o assunto <sup>10</sup>.

O sistema econômico pode ser descrito como um sistema não linear e estes habitualmente apresentam, concomitante às facetas extremamente complexas, geralmente avessas a um tratamento matematicamente analítico, uma certa “naturalidade” e “universalidade” em alguns de seus comportamentos. Utilizando métodos desenvolvidos para o estudo de *sistemas naturais não lineares e complexos*, em particular, a *teoria do Caos*, procurar-se-á, iniciar com este trabalho, a busca e, posteriormente, um maior aprofundamento na análise dos fenômenos associados ao sistema econômico brasileiro.

Neste trabalho, o objetivo é descrever e explicar, *através de um sistema de equações diferenciais não lineares*, os ciclos da economia, procurando mostrar o seu caráter endógeno e “natural” deste comportamento, e, em seguida, reproduzir os ciclos observados historicamente, na economia brasileira, através de um modelo empírico, de forma a permitir uma análise prospectiva de curto prazo.

---

<sup>10</sup> Ramsey e Yuan (1989) e Ramsey, Sayers e Rothman (1988), ambas as citações em [BOLDRIN, p.9, op. Cit].

Além disso, distintamente da abordagem tradicional, na qual se procuram descrições de origem microscópicas e lineares, este trabalho busca os efeitos macroscópicos, decorrentes da “viscosidade” do sistema econômico, ou seja, sem se preocupar com a complexa inter-relação entre “partículas” da sócio-economia, procura-se a existência de relações entre parâmetros “macros” do sistema, analogamente às equações de estado da termodinâmica. Em seguida, dada as características “viscosas”, presentes na economia, identificadas na seção (3.3.2), tentar-se-á uma abordagem explicativa do modelo proposto, semelhantes às abordagens efetuadas para outros fenômenos não lineares. Entre estes, citam-se os fenômenos da fluidodinâmica, incluindo um ensaio, utilizando a teoria do Caos, como modelo descritivo do agregado macroeconômico, a partir da identificação de características e comportamentos *complexos* presentes, dependentes das condições iniciais.

Quanto às prováveis e justificadas críticas que este trabalho vai suscitar, frente à demasiada simplificação da descrição do sistema econômico, ignorando em um primeiro momento, variáveis e relações normalmente discutidas em trabalhos macroeconômicos, vale citar J. Gleick<sup>(12)</sup>:

*“ A opção é sempre a mesma. Podemos tornar nosso modelo mais complexo e mais fiel à realidade, ou podemos torná-lo mais simples e de uso mais fácil. Só o cientista muito ingênuo acredita que o modelo perfeito é aquele que representa perfeitamente a realidade. Esse modelo teria os mesmos defeitos de um mapa tão grande e detalhado quanto a cidade que representa, um mapa retratando todos os parques, todas as ruas, todos os edifícios, todas as árvores, todos os buracos, todos os habitantes e todos os mapas. Se tal mapa fosse possível, sua especificidade destruiria seu propósito: generalizar e abstrair. Os cartógrafos ressaltam os aspectos que seus clientes desejam. Qualquer que seja o seu objetivo, mapas e modelos devem simplificar tanto quanto reproduzem o mundo.”*

Para tanto, foi feito um levantamento das informações macroeconômicas disponíveis nas contas nacionais, considerando-se a maior série temporal possível. Uma investigação preliminar sobre o comportamento da relação entre o estoque de capital e o PIB, através do desdobramento dessas variáveis obedecendo distintas equações diferenciais, provocou algum otimismo nesta linha de investigação como será mostrado na seção (3.3.7).

A partir desse modelo ajustado ao passado, poder-se-á, em princípio, fazer algumas incursões exploratórias sobre a demanda energética futura, bem como uma análise *ex-post*, de estudos prospectivos realizados há vinte anos, pelo autor.

#### 2.2.4. CICLOS ECONÔMICOS MUNDIAIS E BRASILEIROS.

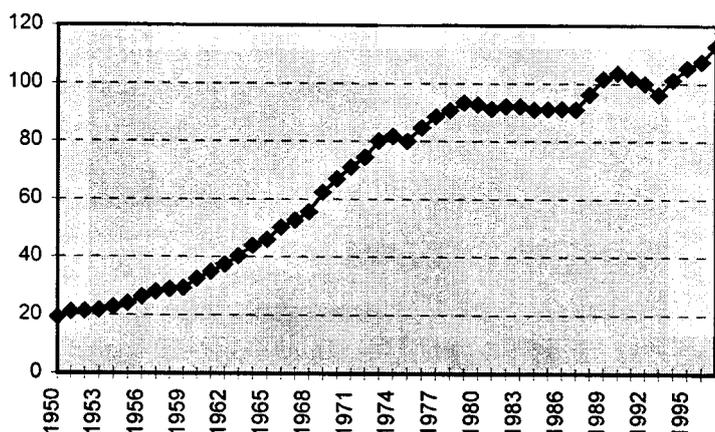
A economia nacional não pode, evidentemente, ser analisada de forma isolada dos acontecimentos mundiais, nos quais ela se insere de forma cada vez mais íntima. Nas últimas décadas, fatos ocorridos no cenário internacional concorreram de forma inequívoca ao comportamento cíclico, tanto das economias industrializadas, quanto dos países em vias de desenvolvimento [COINTET, (1997)]. Os ciclos iniciados na recessão de 1974 ou aquela de menor amplitude iniciado em 1979, têm sido associados aos dois primeiros choques do petróleo. O contrachoque petrolífero de 1986, época em que o preço do petróleo foi dividido pela metade, influenciou fortemente a conjuntura, melhorando a rentabilidade dos investimentos das empresas. A reunificação da Alemanha a partir de 1989 criou, num primeiro momento, condições de aumentar a demanda agregada, consolidando o crescimento, tanto pela elevação do poder de compra da população, quanto pelos investimentos requeridos para sustentar o aparelho produtivo e a produção da Alemanha do leste. Aliás, esse período de crescimento beneficiou também os países vizinhos, principalmente a França. Entretanto, num segundo momento, a decalagem entre a oferta rígida e a demanda em expansão propiciou uma tensão inflacionista na Alemanha, o que ocasionou uma elevação das taxas de juros dos bancos centrais desse e de outros países. A reunificação teve, portanto, um duplo papel, tanto na fase ascendente do ciclo, quanto na sua fase recessiva. A crise do Golfo ao final de 1990, também teve sua participação na desaceleração verificada em 1991 e 1992, uma vez que isso provocou um retorno temporário dos preços do petróleo, aos níveis de 1985, ao mesmo tempo criou um clima de incerteza, afetando sensivelmente novos investimentos. De forma geral, a política seguida pelos países industrializados nas décadas de 80 e 90 tem sido de acentuar o comportamento cíclico, uma vez que esses países, adotando uma política antiinflacionária, diminuíram as despesas do Estado, em plena fase recessiva.

Em relação aos Estados Unidos, o último ciclo observado foi de menor amplitude que os anteriores e precedeu em três ou quatro anos, aqueles dos países europeus. No Reino Unido a defasagem em relação a maioria dos países do ocidente tem sido de um ou dois anos. Um fato importante foi a verificação de um ciclo europeu próprio, distinto do observado no Reino Unido. Aliás, a aliança econômica européia provocou também, a unificação e homogeneização nos ciclos desses países. Como última observação marcante concernente aos fenômenos cíclicos mundiais é que existe uma coincidência aproximada de fase recessiva neste final de século, com os ciclos decenais de Juglar e com os ciclos longos de Kondratieff.

Os gráficos de (2.2.4.1) a (2.2.4.3) mostram o comportamento oscilatório observado em diversos agregados macroeconômicos, tanto em países industrializados, quanto no Brasil.

GRÁFICO (2.2.4.1): França - Índices de produção industrial.

#### FRANÇA: PRODUÇÃO INDUSTRIAL



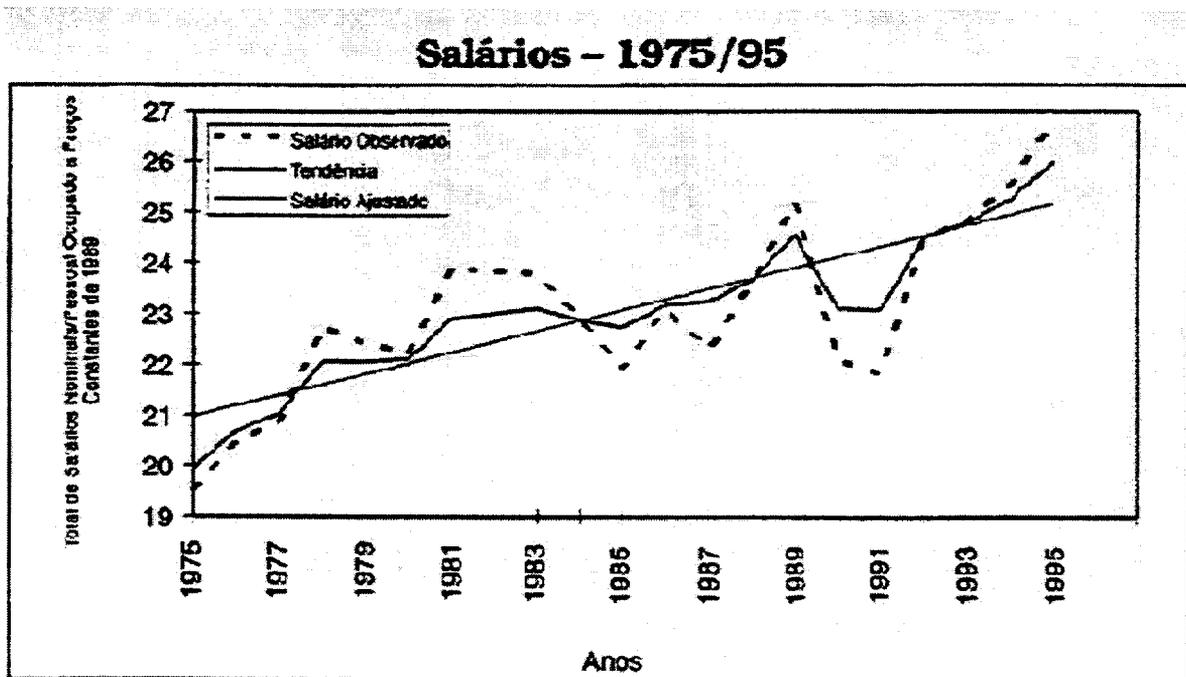
Fonte: France Manufacturing Output Index - <http://bos.business.uab.edu/charts/>

Em artigo recente J. Kregel<sup>11</sup> faz uma análise da atual situação econômica mundial e as perspectivas até o final de século, incluindo nessa análise os seguintes países e regiões: Ásia, Europa, América Latina, Rússia, China, Japão, Estados Unidos e Brasil. De maneira geral, a conclusão que ele chega é de que a demanda agregada, em praticamente todos os países, não está mais crescendo. Os Estados Unidos, que representariam uma exceção nesse quadro, não estão aumentando suas exportações para a América Latina e Ásia, seus principais mercados de

<sup>11</sup> [KREGEL, (1999)]

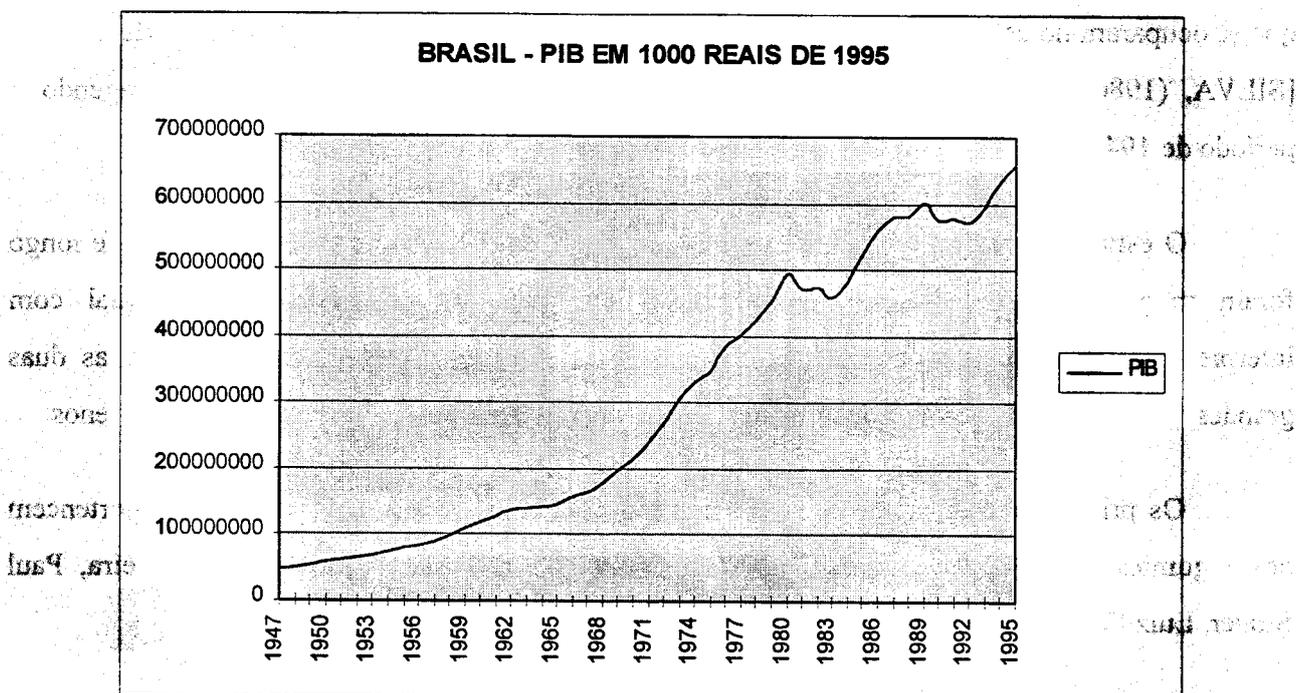
exportação. O déficit americano tende a crescer, pois não têm mercado em expansão. Além disso, os EUA vêm experimentando uma explosão de investimentos que já dura, aproximadamente, dez anos. Hoje, sua capacidade produtiva cresce cerca de 5% ao ano e a economia como um todo cresce 3%, mas a rentabilidade vem caindo a uma taxa de 0,2% por semestre. Se a rentabilidade diminui e a capacidade de produção aumenta, o *investimento*, inexoravelmente, sofrerá alguma conseqüência. Pode-se esperar um novo impacto negativo sobre a demanda, embora os EUA tenham conseguido um superávit orçamentário significativo, há um impacto negativo sobre a demanda, pois são recursos retirados da economia.

GRÁFICO (2.2.4.2): Brasil - comportamento oscilatório dos salários.



Fonte: [CARVALHO, (1996)]

GRÁFICO (2.2.4.3): Brasil - PIB em valores constantes (R\$ 1000 de 1995).



Fonte: [JUHAS, (1998)]

Há, portanto, três fatores que se somam para refrear a demanda norte-americana: as perspectivas das exportações, a tendência dos investimentos declinantes e o próprio superávit orçamentário do governo. A única coisa que continua a estimular a economia americana é que os consumidores continuam a aumentar seus gastos à razão de 5% ou 6% ao ano, apesar de apenas 2% na renda real. Esse consumo tem sido sustentado, basicamente, pelo endividamento financiado através de empréstimos, cuja garantia são os lucros no mercado de ações, que continuam altos, por enquanto. Entretanto, se houver uma queda de 20% no preço das ações, as famílias que contraíram empréstimos, com base na expectativa de venda dessas ações, ficarão insolventes ou terão de reduzir seu consumo. Atualmente, a exuberância do mercado de ações é o único elemento positivo a produzir um bom desempenho na economia americana. Entretanto, Alan Greenspan, do Federal Reserve, adverte continuamente, contra a “exuberância irracional” desse mercado, que continua aquecido. Se houver uma queda forte, os gastos de consumo experimentarão grande diminuição e a Ásia, América Latina e EUA sofreriam juntos uma conjuntura de retração da demanda. Todo esse quadro retratado para o final de século, coincide com o efeito previsto, da junção dos ciclos de Juglar e de Kondratieff, em suas fases decrescentes, como foi anteriormente apontado.

Apresenta-se a seguir uma síntese das interpretações de alguns economistas brasileiros, que se ocuparam no estudo dos ciclos na economia nacional, baseada no artigo resenha de T. Silva [SILVA, (1986)], no qual comparecem as referências dos trabalhos utilizados, abrangendo o período de 1947 a 1983.

O estudo dos ciclos econômicos no Brasil, tanto os de curto período, quanto os de longo foram tratados por economistas de diferentes correntes de pensamento, cada qual com interpretações e abordagens independentes, quanto às suas possíveis causas, segundo as duas grandes vertentes explicativas, concernentes à natureza endógena ou exógena desses fenômenos.

Os principais trabalhos analisando as oscilações econômicas nesses períodos, pertencem aos seguintes autores:, José Serra, Maria da Conceição Tavares, Francisco de Oliveira, Paul Singer, Luiz Carlos Bresser Pereira e Ignácio Rangel.

Existe um consenso, entre esses autores, na identificação de cinco fases cíclicas distintas, no período considerado, quanto aos fenômenos de expansão e contração do produto interno bruto e da produção industrial. A primeira fase, de 1947 a 1961, foi de expansão com altas de crescimento do PIB, sendo a taxa média geométrica nos primeiros oito anos, igual a 7,2% a.a. e de 8,2% a.a., nos seis anos restantes. A segunda fase compreende os anos entre 1961 e 1967, com desaceleração relativa, do ritmo de crescimento da economia, com taxa média de 4,0% a.a. A terceira fase, pertencente ao chamado milagre econômico, entre 1967 e 1973, com taxa média anual de 11,0 %. A quarta fase vai de 1973 a 1980, com desaceleração relativamente ao período anterior, mas, ainda com crescimento positivo de 7,1% a.a. A quinta fase, de 1980 a 1983 foi o período recessivo, com uma taxa negativa de (2,4%) a.a. O período que vai de 1983 a 1997 pode também ser dividida em tres fases cíclicas: de 1983 a 1989, uma fase de crescimento a 4,6% ao ano, seguido de um período recessivo de 1989 a 1992, com crescimento negativo de (1,6)% ao ano. De 1992 até 1997, observa-se novamente uma recuperação do PIB, à taxa de 4,2% ao ano. A tabela (2.2.4.1) abaixo resume os períodos citados e respectivas taxas de crescimento econômico:

TABELA (2.2.4.1): Brasil: taxas de crescimento reais do PIB (%).

PERÍODOS	taxa cresc. (%) a.a.
1947 - 1955	7,2
1955 - 1961	8,2
1961 - 1967	4,0
1967 - 1973	11,0
1973 - 1980	7,1
1980 - 1983	(2,4)
1983-1989	4,6
1989-1992	(1,6)
1993- 1997	4,2

Fonte: IBGE

Em seu *Ciclos e mudanças estruturais na economia brasileira do após-guerra* (1982), J. Serra correlaciona o comportamento cíclico da economia com as flutuações dos investimentos brutos, oscilações essas devidas a fatores estruturais endógenos. Isso significa, que um declínio no nível de investimento, após uma fase de expansão é um fato normal e esperado, principalmente se houve superdimensionamento nesses investimentos, como de fato ocorreu no período de 1956 a 1960. A desaceleração do crescimento no período 1962 a 1967 está relacionada com a conclusão do volumoso pacote de investimentos iniciado em 1956. Esse autor enfatiza a defasagem temporal entre setores produtivos, como a principal causa das flutuações, o efeito *teia-de-aranha*, tratado anteriormente, ou seja, o atraso do crescimento da produção de bens de capital em relação ao setor de bens de consumo durável, não durável e o de construção civil. Segundo Serra, os fatores exógenos, tais como o choque do petróleo e a inflação mundial, a partir de 1973, não desempenharam papel fundamental, na reversão cíclica, apenas agravaram uma situação existente, uma vez que incidiram sobre uma situação de preços e de balanço de pagamentos tendencialmente vulnerável.

Em seu livro *Da substituição de importações ao capitalismo financeiro* (1972), M. C. Tavares também relaciona o comportamento cíclico com as flutuações no investimento, provocando acelerações e desacelerações na taxa de acumulação de capital. Segundo essa autora, a taxa de investimento é a variável crítica, à qual se acopla a sua rentabilidade esperada, que uma vez não cumprida “ex-post”, compromete de forma irremediável a realização de novos investimentos. Esses investimentos não dependem apenas das capacidades e possibilidades de autofinanciamento ou da obtenção de créditos por parte das empresas, mas, sobretudo das relações existentes no mercado, entre a estrutura da taxa de lucro e de juros e da taxa de rentabilidade esperada dos novos investimentos e dos riscos associados. Como se pode observar pela análise a ser feita na seção (3.3.4), essa abordagem é nitidamente e particularmente de inspiração *keynesiana*, assim como outros autores citados. A autora também imputa aos efeitos cíclicos, causas predominantemente endógenas, tais como a estrutura da capacidade produtiva industrial; a estrutura da demanda - a dimensão e composição relativas do mercado interno; a disponibilidade relativa de fatores de produção; o padrão de investimento e a taxa de lucro de equilíbrio. Como exemplo, o menor crescimento observado no período de 1962-1967 ocorreu em função do esgotamento do dinamismo da industrialização baseada na substituição de importações. A inexistência de um volume de investimentos compatíveis com a anterior fase expansionista era consequência da interação da estrutura de demanda (expectativas de rentabilidade) e as fontes de financiamento (taxas de juro).

Em *A economia da dependência imperfeita* (1977), F. de Oliveira associou as flutuações cíclicas com os desequilíbrios decorrentes do padrão de acumulação na estrutura econômica brasileira, em função da maior expansão do Departamento III (bens de consumo duráveis). Desse modo, segundo o autor, o ciclo descendente não provém da realização da produção, mas sim crise de concentração, proveniente do descompasso entre o padrão de acumulação fundeado no Departamento III e as fracas bases do Departamento I (bens de produção). Nesse aspecto, a conclusão do autor é semelhante em muitos aspectos à conclusão de J. Serra.

Em *A crise do “milagre”* (1980), P. Singer concorda com os trabalhos anteriores, no tocante aos fatos causadores dos ciclos estarem relacionados à formação bruta de capital fixo, isto

é, ao mecanismo de acumulação de capital, mais um desequilíbrio entre o Departamento I (bens de produção) e o Departamento II (bens de consumo). Em texto mais recente (1984), o autor concorda, também com a idéia de que fatores exógenos tiveram pouca influência, na causação dos fenômenos cíclicos, exceto no período recessivo de 1981-1983. Nesse período, o autor considera a crise, como fenômeno induzido do exterior, nada tendo a ver com o esgotamento da capacidade interna de promover o crescimento e sim com a dívida externa e a recusa dos bancos credores privados internacionais em refinanciá-la. A crise mundial é objeto também de sua análise, afirmando não se tratar de mero fenômeno conjuntural, mas de algo bem mais profundo, ligado à fase descendente do ciclo de longo prazo de Kondratieff.

Em *Auge e declínio nos anos setenta* (1983), L. C. Bresser Pereira também considera que os ciclos foram causados por excessos e faltas de investimento, em períodos sucessivos, desequilibrando, assim, a produção. Concorde também, com a tese *keynesiana*, de que a queda no investimento decorre da expectativa de queda da rentabilidade em relação à taxa de juros. Minimiza os fatores exógenos como causadores dos ciclos, afirmando que o choque do petróleo em 1973, apenas ajudou a reversão do ciclo, mas que a extraordinária sobreacumulação de capital, verificada anteriormente, teria necessariamente que desembocar em crise. Assim, a redução na taxa de acumulação a partir de 1974 ocorreu principalmente na indústria de bens de consumo duráveis, de automóveis, em particular, que vinha liderando o ciclo expansivo anterior. Para ele, tratava-se de um caso clássico de crise de subconsumo.

Em *A história da dualidade brasileira* (1981), I. Rangel faz uma análise baseada no princípio de que as flutuações na economia do Brasil são, numa certa proporção, *moduladas*, através do comércio exterior, pelas flutuações mundiais de longo prazo, uma vez que a economia nacional está, inextricavelmente, imbricada no contexto internacional. Essas flutuações, identificadas como os ciclos de Kondratieff, de período aproximado de 50 anos, com um quartel de século de fase ascendente e outro quartel de fase descendente. O primeiro ciclo longo foi de 1790 a 1848; o segundo, de 1848 a 1896; o terceiro, de 1896 a 1948. O quarto, ciclo de Kondratieff começou sua fase ascendente em 1948, após a Segunda Grande Guerra, permanecendo até 1973, quando começa a fase descendente, perdurando até o fim do século. A economia brasileira, de

acordo com esse autor, além de sofrer os efeitos das flutuações engendradas no centro dinâmico internacional, também está sujeita às flutuações de natureza endógena, identificadas como ciclos médios de *Juglar*, ou *ciclos breves*, de duração aproximada de 10 anos. A economia, após uma fase ascendente, entra em crise, a qual acaba por induzir, através do efeito de *destruição criadora*, termo criado por *Schumpeter*, mudanças institucionais, as quais sensibilizam novos grupos de atividades econômicas, ainda não modernizadas, pondo em marcha um *magote* de investimentos, cujos efeitos se propagam a todas as partes do sistema, impelindo assim para uma nova fase ascendente. Em seguida a esse processo, quando é esgotado o impulso e os pontos de estrangulamento, sobrevêm atividades associadas à capacidade ociosa, desencadeando nova crise. As tensões sócio-políticas, decorrentes dessa crise, promovem novas mudanças institucionais, viabilizadoras de nova onda de investimentos, fechando novamente o ciclo.

Em artigo posterior (1985), Rangel considera que o *Milagre Delfim* (1967-1973), com seus 13% ao ano de crescimento da produção industrial, correspondeu a uma combinação da fase ascendente do ciclo de *Juglar*, com a etapa final da fase ascendente do último ciclo de *Kondratieff*, que deslocou o início da fase recessiva do ciclo de *Juglar*. No período de 1973 a 1980, a economia mundial viveu a fase descendente do *ciclo longo*, mas esse fato foi neutralizado no Brasil, porque na maior parte desse período ocorreu a fase ascendente do *ciclo curto*. Nesse período, os investimentos na indústria pesada e na implantação da florescente agricultura capitalista foram o motor primário do processo de recuperação. Ainda, segundo o autor, em 1980, o *ciclo breve* entrou também em fase descendente, o que significou a coincidência das fases recessivas dos dois processos ondulatórios, somando seus efeitos e agravando mutuamente a situação econômica, mergulhando o país em profunda recessão.

O ciclo de contração da economia brasileira que vai se manifestar nos anos oitenta tem, em verdade, início com o esgotamento da fase expansiva propiciada pelo II PND, que cobre o período de 1974 a 1978. Dois aspectos antagônicos de política econômica marcam essa fase, segundo S.M.G. Guerra [GUERRA, (1998)]:

- (i) expansão da política de gastos e investimentos públicos e
- (ii) política de crédito, de caráter contracionista.

Esgotada essa fase expansiva, na qual os investimentos públicos deixam de impulsionar a indústria de bens de capital, surge uma fase de capacidade ociosa no setor produtivo. Isso se dá internamente, enquanto que, em 1979, também, dois aspectos de política econômica vão contribuir fortemente para alterar o quadro internacional. O primeiro desses aspectos é a alteração da política monetária norte americana e o segundo uma nova fase de correção dos preços internacionais do petróleo e seus derivados.

Esses dois aspectos da política econômica vão afetar grandemente a situação interna na medida em que a obtenção de recursos externos torna-se extremamente difícil pela elevação das taxas de juros. Por outro lado, a balança comercial brasileira fica violentamente afetada por esses novos preços do petróleo. A reação brasileira aos impactos, tanto internos quanto externos, vai se dar por intermédio de uma tentativa de passar para a sociedade a crença de que a melhor política seria aquela baseada em programas de retomada do crescimento. Para isso, tomam-se medidas visando, no futuro, desacelerar o fluxo de recursos externos mediante a utilização de reservas cambiais, o que de certa forma contribuía para a diminuição da base monetária. Na situação de pêndulo, a economia vê-se em 1982 afetada pela crise então vivida pelo México.

Já entre 1984 e 1985 apresenta indícios de recuperação de sua atividade econômica. Em seguida dá-se uma nova fase na qual há um misto de euforia e apreensão. Trata-se da fase que se torna conhecida como a do Plano Cruzado, na qual, ocorre certa expansão com a conseqüente permanência de fatores inflacionários. O chamado *caráter inercial da inflação* brasileira é discutido à exaustão sem, contudo, trazer solução para os graves problemas com os quais se debatia a sociedade. Sem encontrar um caminho sólido e duradouro de crescimento, esgota-se esse período com todas as características daquilo que fica sendo considerada a “década perdida”.

Essa perda, também, não estava nem finalizada, nem consolidada. O governo que se instaura a partir de 1990 vai se debater com inúmeros problemas herdados da situação anterior e agravados por suas próprias tentativas de solução. Políticas de confisco de rendas e receitas pessoais foram implantadas sem o menor sucesso, dado que rapidamente os agentes econômicos

partem para novos reajustes de preços e para a retomada da valorização do processo especulativo *à la era Schacht*<sup>12</sup>. A inflação permanece.

Firma-se nessa mesma ocasião a certeza de que a solução se daria por meio da implantação de severas medidas de reajustes econômicos que se tornam conhecidos como a *vaga neo-liberal*. A reconstrução e consolidação do mercado inglês e a política norte americana imposta durante a década de oitenta vão se tornar os novos paradigmas de programas econômicos. A segunda metade da década de noventa vai se caracterizar por políticas econômicas dominadas pelo chamado interesse dos mercados. Análises mais conclusivas e detalhadas, ainda permanecem à espera de conceituados estudiosos. Enquanto isso não ocorre, torna-se necessária a menção a algum mecanismo que indique o comportamento das políticas adotadas principalmente de 1995 para cá.

De acordo com dados do IBGE, a taxa média de crescimento da formação bruta de capital fixo ou investimento foi de 18,4% ao ano, no período referente a década de oitenta. Durante essa década apresentou um comportamento oscilatório, tendo partido de uma taxa de 22,8% em 1980 a um ponto inferior em 1984 da ordem de 16,2%.

O investimento será entendido como aquele incremento havido na demanda agregada com o fim de aumentar e manter o estoque de capital necessário e minimamente suficiente para impulsionar a dinâmica econômica. Sem querer entrar em longas discussões teórico - semânticas deixa-se, de lado, aqui a distinção entre investimento produtivo e especulativo. Por estoque de capital consideram-se os totais de maquinarias, equipamentos e os valores alocados em estruturas básicas de serviços. O investimento incremental na formação desse estoque de capital se dá, entre outros fatores, em função das expectativas dos níveis de produção previstos; dos custos estimados e dos rendimentos avaliados em valores presentes, dados especificações particulares e apropriadas a cada um dos objetivos pré-determinados. Tais rendimentos vão compor a parcela de lucros esperados da aplicação. Para isso, deve ser considerada como ótima, a melhor relação de

---

<sup>12</sup> Schacht, ministro das finanças do III Reich.

*produtividade marginal do capital* obtida a partir do investimento efetuado. Nesse caso, deve ser considerado o fator *taxa de juros*, elemento vital da atual política econômica.

Em síntese, todos os autores relacionam, de uma forma ou outra, as flutuações cíclicas da economia brasileira com os sobre e sub-investimentos públicos e privados, conjugados com a estrutura da acumulação de capital, ou seja, com a distribuição desequilibrada dos investimentos pelos vários departamentos. Todas as abordagens anteriores concordam, em linhas gerais, com a teoria *kaleckiana*, cuja tese central é a de que são os *investimentos*, a variável crítica das flutuações econômicas e todas concordam também, da natureza essencialmente endógena dos ciclos.

Entretanto, não se encontra em nenhuma delas, o interesse de se encontrar um *arcabouço* ou um *modelo matemático*, no qual se insiram as variáveis macroeconômicas, de tal forma a permitir a dedução ou a determinação do parâmetro dinâmico fundamental, numa flutuação cíclica, ou seja, o *período aproximado do fenômeno oscilatório*. Este arcabouço permitiria, eventualmente, a antecipação do comportamento mais robusto da economia, fornecendo aos planejadores advertências e indicações para possíveis mudanças de rota, evitando desta maneira, algum processo ou comportamento indesejáveis para a sociedade. Como foi discutido, este *período*, ou equivalentemente, a *frequência* de oscilação, deve depender essencialmente dos *investimentos* e não das condições de *contorno* ou *iniciais* do sistema econômico. Também não deve depender, explicitamente, do *tamanho* ou da *capacidade total instalada* da economia, uma vez que tais ciclos têm, aproximadamente os mesmos tempos de duração, independentemente do país em foco. Um dos objetivos deste trabalho será apresentar uma proposta de *arcabouço matemático*, que evite e contorne as discussões tradicionais, sobre o processo, relativo à decisão ou não de se efetuar o *investimento* e, que levam, invariavelmente, ao uso intensivo da abordagem míope e *reducionista*.

## Capítulo 3. Metafísica e Métodos

*“Ele (o método) é de origem algébrica ou topológica, proveniente da matemática das estruturas, nascida neste século. (...) é o conjunto de saltos aos quais nos referimos: pode-se comparar um teorema de álgebra usual com outro vindo da longínqua geometria ou da aritmética. De repente, dois ou três objetos a uma distância enorme, antes sem vínculo algum, fazem parte da mesma família. (...) Em filosofia, onde os elementos se encontram ainda mais afastados uns dos outros, esse método parece, de início, bastante curioso: aproxima coisas bem díspares. E foi o que logo me censuraram: a proximidade entre a teoria das turbulências e o poema de Lucrecio, entre a termodinâmica e os romances de Zola, e assim por diante. Nós não tínhamos mais, esses críticos e eu, a mesma paisagem diante dos olhos, o mesmo conjunto de proximidades e de distanciamentos.”*

Michel Serres, sobre seu método, em *Luzes* [SERRES M., pp. 95-96, op.cit.].

### 3.1. DETERMINISMO E LIBERDADE: ASPECTOS HISTÓRICOS E FILOSÓFICOS.

*“Um jogo de damas é essa vida:*

*Quadro preto – a noite, branco – o dia,  
E o destino a jogar, sem perdida,  
Os homens, quais pedras, à porfia*

*Para atingir sua finalidade,  
Move-os e os separa, a seu prazer,  
Quais servos fiéis de sua vontade,  
Um por um, até à terra volver”*

Omar Khayyán ,

em *Determinismo Rígido e Moderado*; Edwards P.[HOOK, (1958)].

A indagação e a preocupação “*do que vai acontecer*” é uma das primeiras manifestações da racionalidade humana e remonta, provavelmente, às suas origens, ocasião em que o homem primitivo começa a representar em pinturas rupestres, os animais que ambiciona caçar. Variando em amplitude e profundidade, tal questão ocupou também, a mente de todos os filósofos, teólogos, cientistas, políticos, governantes e charlatães em todas as épocas, de maneira que as

reflexões sobre esse assunto foram exaustivamente exploradas, já fazendo parte do patrimônio intelectual coletivo. Portanto, a probabilidade de se produzir algum encadeamento novo de idéias, que contribua de forma original ao tema, é próxima de zero, não passando na maioria das vezes de meras introjeções.

Apesar disso, a polêmica existente sobre a questão *Determinismo versus Acaso* está longe de ter seu veio esgotado, tendo sido recentemente reacendida em função das pesquisas sobre as propriedades das equações diferenciais não lineares, conhecidas como *sensibilidade às condições iniciais* (SCI) e a teoria do Caos aplicadas a fenômenos naturais e sociais.

A definição de Determinismo, segundo Blanshard B., em [HOOK, (1958)] é:

*“...todo acontecimento A está de tal modo ligado a um acontecimento subsequente B, que, uma vez ocorrido A, B terá de acontecer. Por Indeterminismo refiro-me à opinião de que existe um acontecimento qualquer B, que não é ligado a qualquer A anterior, nem tem de ocorrer obrigatoriamente, uma vez ocorrido A”.*

Já na antiguidade clássica, de acordo com L. P. Rosa em, *A Aplicação de Conceitos, Paradigmas e Métodos da Física à Economia* e I. C. Moreira, em *Os Primórdios do Caos Determinístico*, ambos em [SILVEIRA, (1995)], a questão do *determinismo e do acaso* foi colocada ao se tentar “entender” os fenômenos naturais. Em 585 a. C., Tales de Mileto previu corretamente um eclipse. Um sucesso, que certamente influenciou a corrente *determinística* já existente. Entre os pré-socráticos começou a ser forjada a visão de um comportamento necessário e bem regulado para o universo material. Leucipo sintetizou essa idéia numa frase que se tornou ponto de referência desde então:

*“Nenhuma coisa se engendra ao acaso, mas todas (a partir) da razão e por necessidade”.*

Aristóteles, no *Organum*, aborda a teoria das quatro causas e o princípio da razão suficiente:

*“todo fenômeno tem causa”.*

Na tragédia de Sófocles, *Édipo*, aparecem situações de puro acaso, circunstanciais, não necessárias, mas a trama essencial é absolutamente determinística – o destino é implacável e inexorável, tal qual a sorte de Santiago Nasar, no romance de Gabriel Garcia Marques, *Crônica de uma Morte Anunciada*. Outro exemplo clássico, encontrado na literatura é a tragédia de Shakespeare, *Hamlet*, na qual esse personagem não pode se esquivar ao seu destino e “papel”, mesmo sabendo que desempenhá-lo significará a sua ruína e a morte. Na época helenística a disputa era entre os estóicos, partidários de um determinismo rigoroso da natureza, enquanto os epicuristas rejeitavam o determinismo estrito, através do chamado *clinamen* (declinação), que permitia salvaguardar o princípio do livre-arbítrio da natureza. No *De rerum natura* Lucrécio pergunta:

*“Se todo movimento é solidário a outro e sempre um novo sai de um antigo, segundo uma ordem determinada, se os elementos não fazem, pela sua declinação, qualquer princípio de movimento que quebre as leis do destino, de modo que causas não se sigam perpetuamente às causas, donde vem essa liberdade que têm os seres vivos, donde vem este poder solto dos fados, por intermédio do qual vamos aonde a vontade nos leva e mudamos o nosso movimento, não em tempo determinado e em determinada região, mas quando o espírito o deseja?”.*

Cícero sugere a existência de uma inteligência superior, que pudesse abarcar todo o conhecimento momentâneo sobre o universo e, a partir das leis necessárias que regem o comportamento deste, prever todos os acontecimentos futuros com absoluta certeza:

*“Se houvesse um homem cujo espírito pudesse discernir as relações que ligam as causas entre si então, seguramente, não poderia se enganar nunca em qualquer predição que fizesse. Porque aquele que sabe as causas dos eventos futuros necessariamente sabe como cada evento futuro ocorrerá”.*

A questão do determinismo e do acaso atraiu muitos pensadores ao longo dos séculos subsequentes e trouxe, ligada a ela, uma perspectiva científica, ética, religiosa, moral e até mesmo jurídica: a disputa entre o determinismo da natureza e o “livre-arbítrio” dos homens. Afinal, como permitir, por exemplo, a punição de um crime, se este era o desígnio e a vontade dos deuses? Henry Sidgwick, em *Methods of Ethics*, assim expõe essa questão [Encycl. Britann., vol.9,(1971)]:

*“É minha ação voluntária em qualquer instante completamente determinada por: (1) meu caráter, parcialmente herdado e parcialmente formado pelas minhas ações passadas e sentimentos; (2) minhas circunstâncias, ou influências externas agindo naquele momento? [...] seriam minhas ações calculadas por alguém que conhece meu caráter naquele momento e as forças agindo sobre mim? Ou existe um elemento estritamente incalculável nisto?”.*

O debate nos níveis filosófico e religioso envolveu grandes personalidades como Immanuel Kant, que concordava com o determinismo científico, mas que o determinismo moral era de todo rejeitado, pelo *livre arbítrio*. John Locke, em *Essay on the Human Understanding*, define o *livre arbítrio* da seguinte forma:

*“ Nós podemos apropriadamente dizer que a faculdade de cantar nos faz cantar, a faculdade de dançar nos faz dançar, assim como o livre arbítrio nos faz escolher.”*

Martinho Lutero, William Ockham, Erasmus, João Calvino, foram grandes debatedores dessa questão sob o ponto de vista religioso, abrangendo os mais variados assuntos, por exemplo, se a decisão fatal de Adão ter comido a maçã foi um ato voluntário, ou se o homem estava predestinado a sofrer as agruras de sobreviver fora do Paraíso. Outro tema religioso polêmico foi sobre a Redenção dos homens por Cristo. Teria sido uma ação decidida “*per si*”, portanto meritória, ou foi uma mera obediência às ordens de seu pai, o Eterno Criador?. Outra questão levantada pelos Maniqueus era de que as ações diabólicas, eventualmente praticadas pelo homem faziam parte, como todo o resto, das obras do Criador. Santo Agostinho dizia que Deus é mais glorificado pela prece voluntária, do que a adoração feita de maneira autômata.

No universo cristão da Idade Média começou a se firmar a idéia de um Deus que ditava regras, também do comportamento do universo inanimado, permeando até hoje o nosso cotidiano, por exemplo, pela famosa frase de Einstein<sup>1</sup>:

*“Der Herr Gott vürfelt nicht!”.*

---

<sup>1</sup> Em [HOOK S., (1958)].

Ao que os modernos estudiosos da teoria do Caos, se referindo aos atratores estranhos e formas determinísticas criadas a partir de fenômenos aparentemente aleatórios, replicariam que Deus não apenas joga dados, mas dados viciados [STEWART,(1991)].

Modernamente, podem ser citados pensadores como K. R. Popper, em A. Landé, “*O Acaso a Favor do Indeterminismo*”<sup>2</sup>:

*“...sustentaria que, independentemente de quaisquer possíveis progressos técnicos do futuro, o determinismo não é compreensível e nunca o será, principalmente quando aplicado às situações fortuitas que conhecemos através dos jogos de azar”.*

Holbach, determinista rígido, citado no trabalho de Paul Edwards, “*Determinismo Rígido e Moderado*” [HOOK, (1958)], teria dito:

*“Você dirá que eu me sinto livre. Isso é uma ilusão que pode ser comparada à da mosca da fábula que, vindo-se no topo de uma pesada carruagem vangloriava-se de dirigi-la. O homem, que se julga livre, e uma mosca que imagina poder mover o Universo, enquanto, sem o saber, é ele mesmo quem está sendo conduzido”.*

E a passagem de Schopenhauer, da mesma citação:

*“Todo homem, sendo o que é e colocado em circunstâncias que prevalecem no momento e que surgem, de sua parte, por estrita necessidade, nada jamais poderá fazer além do que faz no momento. Destarte, todo o curso da vida humana, em seus pequenos e grandes incidentes, está necessariamente predeterminado, como o movimento de um relógio”*

Nas Ciências Naturais, especialmente na Física, o debate se deu de forma mais objetiva, cada qual procurando defender sua posição através do método científico e da experiência laboratorial. O *determinismo científico*, proposto por Laplace em 1814, representava bem o pensamento e o consenso científico da época. Para expor suas idéias, Laplace utilizou a imagem de uma inteligência, conhecida como o *demônio de Laplace* [KOEHLER, (1995)]:

*“vasta o suficiente para submeter seus dados à análise, (que) conjugaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e aqueles do mais leve átomo: nada seria incerto para ela, e o porvir, como o passado, estaria presente a seus olhos”.*

---

<sup>2</sup> Idem.

Até o começo deste século, poucas dúvidas existiam, excetuando-se o trabalho de Poincaré, sobre o problema dos tres corpos, de que os fenômenos da Física obedeciam a um rígido determinismo, fosse pelas equações de Newton da Mecânica, fosse pelas de Maxwell do Eletromagnetismo. Poincaré mostra em seu trabalho que mesmo sistemas descritos rigorosamente por equações *newtonianas*, poderiam ter suas dinâmicas impossíveis de serem descritas analiticamente, ou seja, impossíveis de terem suas coordenadas determinadas no espaço e no tempo, dada a hipersensibilidade às condições iniciais. De qualquer modo, tal condição de imprevisibilidade, desconfiava-se, era devida mais às limitações de cálculo do que, propriamente, às dificuldades teóricas intrínsecas. Assim foi que, no momento que Heisenberg propôs como um *princípio* fundamental, sua famosa relação de *incerteza* entre momento e posição de uma partícula na Mecânica Quântica, houve um cataclisma no meio científico da época, abalando a confiança dos cientistas e suscitando a notória frase de Einstein, citada acima.

Spinoza, em [FUKS, (1995)], tem uma concepção interessante do acaso, como o encontro de duas trajetórias determinísticas, apresentando como exemplo o indivíduo que sai de sua casa numa certa hora e anda por uma trajetória bem determinada. Deterministicamente, também cai, pela gravidade, uma telha solta de um telhado e o mata...Este encontro das duas trajetórias determinísticas é o acaso. É dele também a frase [PEITGEN, (1992)]:

*“Nothing in Nature is random... A thing appears random only through the incompleteness of our knowledge.”*

O *determinismo* aceito ontologicamente, introduz uma visão fatalista do mundo: tudo seria predeterminado e a liberdade totalmente suprimida. Leibniz tentou conciliar *determinismo* e *liberdade* ou criatividade através da *teoria da harmonia preestabelecida* e afirmava que a alma humana é um autômato espiritual.

Claude Bernard, partidário do determinismo científico afirma [FUKS, (1995)]:

*“As condições de existência de todo fenômeno são determinadas de forma absoluta: em condições idênticas o fenômeno é idêntico”.*

Ao mesmo tempo tenta preservar a liberdade afirmando:

*“o determinismo não é a negação da liberdade moral, é a sua condição de possibilidade”.*

Os *deterministas* consideram que o Universo, na sua totalidade, é objeto da ciência, englobando fenômenos físicos, sociais, morais, artísticos, religiosos e outros. Haveria um princípio geral que lhes garantiria a unicidade e a coerência entre passado e futuro.

S. Amsterdamsky [FUKS, (1995)], em seu livro *Querelle sur le déterminisme*, faz uma síntese do que hoje seria a abordagem mais próxima do consenso, ao afirmar:

*“A ciência produz uma dicotomia entre leis que são universais e condições iniciais que são locais. Do ponto de vista do determinismo pode-se dizer que as condições estruturais gerais são necessárias e as condições de realização particular são contingentes. Há duas interpretações desta dicotomia: de acordo com a primeira, as leis (determinísticas ou probabilísticas) só determinam as possibilidades dos mundos reais, enquanto a realização destas possibilidades depende cada vez das condições, que ao menos relativamente a estas leis são acidentais; logo, o nosso mundo é um dos mundos possíveis”.*

Na sócio-economia, [Enc.Britann.,op.cit.]:

*“o marxismo sustenta que toda conduta humana é determinada por processos econômicos e pela estrutura de classes da sociedade. O homem pode pensar que está agindo de acordo com o que lhe parece correto, mas isto é uma ilusão, pois todas suas decisões são ditadas pelos interesses de classe. O que o marxismo chama de moralidade, nada mais é que um conjunto de regras ditadas pela classe dominante, afim de se preservar no poder. O laissez faire não tem validade racional, ele apenas reflete o interesse burguês-industrialista, onde nasceu tal conceito econômico.”*

Em artigo denominado *De Nuvens e Relógios*, escrito em 1965, Popper, em [POPPER, (1995)] discute o problema de forma convincente e suficiente para a finalidade aqui desenvolvida, dividindo os sistemas em *nuvens e relógios*. As *nuvens* à esquerda, representando os sistemas físicos que, como os gases, são altamente irregulares, desordenados e imprevisíveis. Os sistemas físicos regulares, ordenados e de comportamento altamente previsível, seriam representados por um *relógio* de pêndulo, extremamente confiável, à direita. Existem, então, muitos fenômenos e processos naturais que poderiam ser classificados entre esses dois extremos: os animais não muito distante das nuvens, à esquerda e as plantas perto do relógio, à direita. Dentre os animais, um

filhote de cão estaria mais à esquerda do que um cachorro velho, assim como um carro da marca Lada estaria, certamente mais à esquerda do que um da marca Toyota, que estaria muito mais à esquerda do que o sistema planetário. É perceptível, pelo exemplo acima, que uma classificação do que seja *mais* ou *menos determinístico* pode ser polêmico e subjetivo, uma vez que um russo pode não concordar com a classificação dada ao Lada. Assim, um enxame de abelhas estaria à direita de uma nuvem de gás: a diferença entre estes sistemas seria devida à *força* de coesão entre os elementos componentes, muito mais intensa no caso das abelhas, do que a *força gravitacional* entre as partículas do gás, resultando em diferentes graus de organização e, conseqüentemente, em diferentes níveis de previsibilidade. Como será mostrado na seção (3.2.5), a viscosidade é proporcional à força de coesão e quanto maior a viscosidade, menor é o número de Reynolds e, conseqüentemente, maior a possibilidade de escoamento lamelar, ou seja, elevando o grau de previsibilidade desses sistemas.

No momento em que Newton estabeleceu as equações, que revolucionaram a mecânica, houve uma crença generalizada, no meio científico, de que todas as *nuvens* eram, na realidade, *relógios*, que pode ser tomado como uma definição do que seria o *determinismo físico*. A classificação anterior com as nuvens à esquerda e os relógios à direita, seria uma classificação, não de acordo com a *natureza*, mas segundo a *ignorância*, ou incapacidade de se descrever uma nuvem de gás adequadamente. Os astros e planetas, antes rebeldes às tentativas de subordinar suas trajetórias às complicadas teorias dos epiciclos, agora obedeciam, como cordeiros, às leis de Newton, comportando-se como previsíveis relógios. A teoria newtoniana foi, de fato, a primeira teoria científica, a ter um êxito tremendo em toda a história, a ponto dos cientistas da época, não terem a menor dúvida sobre sua validade em outros campos, além da física. Dessa forma, o *determinismo científico*, passou a ser uma doutrina, que aqueles que não a abraçavam eram chamados de obscurantistas ou reacionários. Curiosamente, entre os dissidentes estava o próprio Newton, que achava que o sistema solar era *imperfeito* e estava fadado a perecer e por essa razão foi acusado de ímpio, por duvidar da sabedoria do Criador, segundo Henry Pemberton, na página 180 de *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, 1728.

Outro físico e matemático, que duvidou do *determinismo estrito*, foi Charles Sanders Peirce, que escrevia, em 1892:

*“...qualquer um [ Peirce fala como físico experimental] sabe que as mais refinadas comparações de massas e das longitudes, longe de superar em precisão todas as demais medições, [...] são menos exatas que as das contas bancárias, e que [...] as determinações das constantes físicas [...] são mais ou menos como as medições que fazem os fabricantes de almofadas e cortinas.”*

Com isto, Peirce reconhecia um certo *laxismo* ou *imperfeição* em todos os relógios, permitindo a intervenção de um elemento *probabilístico*, *aleatório*. Isto convertia o mundo em um sistema interconectado de *nuvens* e *relógios*, de tal forma que, mesmo o melhor *relógio*, poderia, em sua estrutura molecular, apresentar algum nível de *nebulosidade*. Peirce foi o primeiro físico e filósofo pós-newtoniano, que de certa forma chegou à conclusão que, na realidade, *todos os relógios são nuvens*, ou seja, *só existem nuvens*, ainda que nuvens de diversos graus de *nebulosidade*. Essas idéias não tiveram maior repercussão até 1927, quando a mecânica clássica perde sua posição para a mecânica quântica, cuja base fundamental era o *princípio da incerteza de Heisenberg*, existente entre a coordenada espacial, o respectivo momento e a constante de Planck ( $\Delta p \cdot \Delta x \cong h$ ). Cientistas do porte de Max Planck, Erwin Schrödinger e Albert Einstein, vacilaram em descartar o *determinismo*, apesar de responsáveis, em boa parte, pelo desenvolvimento da nova *teoria quântica*. Arthur H. Compton foi um dos adeptos de primeira hora do novo *indeterminismo* de Heisenberg e foi também o primeiro a sugerir o alcance dessa idéia para outras áreas, principalmente da biologia e da filosofia, onde entusiasticamente, preconizava a solução para alguns problemas relacionados com a moral e a ética. A seguinte passagem de sua autoria, em *A liberdade do homem*, dá uma idéia disto:

*“A pergunta fundamental da moralidade, problema vital na religião, e tema de ativas pesquisas em ciência, é a seguinte: é o homem um agente livre? Se [...] os átomos de nossos corpos obedecem a leis físicas tão imutáveis como os movimentos dos planetas, para que tratar de fazer algo ou de modificar-nos? Que diferença pode haver, por grandes que sejam nossos esforços, se nossas ações já estão pré-determinadas por leis mecânicas[...]?”*

E no livro *O significado humano*, continua:

*“...já não é justificável utilizar as leis da física, como prova contra a liberdade humana.”*

Enquanto a discussão sobre o *determinismo físico* pode prosseguir por um terreno rigoroso, o mesmo não acontece com o chamado *determinismo psicológico ou filosófico*. Hume interpreta este tipo de *determinismo* como a doutrina de que “*causas semelhantes produzem efeitos semelhantes*” e que “*efeitos semelhantes derivam necessariamente de causas semelhantes.*”

Os sucessores de Hume assim se expressam: “*nossas ações ou nossas volições, ou nossos gostos, ou nossas preferências, são “causados” psicologicamente por experiências anteriores e, em última instância, por nossa herança ou pelo meio.*”

Essa doutrina *determinista* é completamente diferente do chamado *determinismo físico*, pois as afirmações de que “*efeitos semelhantes têm causas semelhantes*”, ou de que, “*cada acontecimento tem uma causa*”, é tão vaga, que resulta perfeitamente compatível com o *indeterminismo físico*. O *indeterminismo físico* afirma simplesmente que, *nem todos* os acontecimentos, que se dão no mundo físico, estão predeterminados com absoluta precisão, em todos os infinitesimais detalhes. Portanto, o *indeterminismo físico*, que até a data presente, tem absoluta validade, é de todo *inútil* para refutar o *determinismo psicológico*, estando perfeitamente de acordo com a doutrina física, uma vez que nenhuma medição de *causas* e *efeitos* pode ser infinitamente precisa. Por exemplo, dizer que um rato percorre um labirinto em 20 ou 22 segundos, para todos os efeitos, principalmente comportamentais, é a mesma coisa. Entretanto, como vai ser discutido adiante, em *sistemas complexos*, incluindo os biológicos e sociais, dependendo das condições, mesmo causas semelhantes, podem levar a efeitos totalmente diversos, conhecido como o já citado SCI - *sensibilidade às condições iniciais*.

Para finalizar este capítulo, as palavras de Popper resumem o espírito com que este trabalho vai ser desenvolvido:

*“O que se necessita para a compreensão da conduta humana racional e também da conduta animal é de caráter intermediário entre a aleatoriedade perfeita e o determinismo perfeito; algo intermediário entre as nuvens perfeitas e relógios perfeitos.[...] Porque é óbvio que o que desejamos é entender como as coisas não físicas, como propósitos, deliberações, planos, decisões, teorias, intenções e valores, podem desempenhar um papel em fazer surgir as mudanças físicas num mundo físico. [...] O*

*mero indeterminismo físico não basta. Temos de ser indeterministas, sim, mas também temos que tratar de entender como os homens e quiçá os animais, podem ser “influenciados” ou “controlados” por coisas tais como metas, propósitos, regras ou acordos.”*

Assim, neste trabalho, considerar-se-á que os fatos ocorrerão de maneira geral, subordinados a certas leis, mas estas serão consideradas como *tendencias*, isto é, expressando a “robustez” de uma dada trajetória, que se inclinam a tomar, desde que certas condições sejam cumpridas, mas cujo rumo poderá ser mudado a qualquer instante, durante o percurso, uma vez que essas condições sejam mudadas. Isto, basicamente, representa a diferença que existe entre “economies” e “economics”, observável na língua inglesa e que será comentada ao final da Seção(3.3.1).

## 3.2. PREVISIBILIDADE EM SISTEMAS FÍSICOS COMPLEXOS.

“The test of science is its ability to predict”  
Richard P. Feynman, [FEYNMAN, p.41-12, (1963)]

### 3.2.1. SISTEMAS COMPLEXOS.

Não existe até o momento um consenso, do ponto de vista metodológico, quanto à definição rigorosa do que seja *complexidade*, dado que ela se manifesta de muitas formas diferentes, restando apenas o que usualmente se chama de uma definição heurística, *ad hoc*. Entretanto, a própria definição de complexidade não está, ainda, matematicamente bem definida. Em recente congresso, cujo tema era *Medida da Complexidade* [CINI, p.119, (1994)], uma vinheta bem humorada circulava pelo congresso. Dois cientistas discutem e um deles afirma: “*Complexity is what you don't understand*”, ao que o outro responde: “*You don't understand complexity*”. Uma abordagem qualitativa inicial desse conceito seria a partir da observação de sistemas, aparentemente simples, que exibem certas propriedades, como por exemplo, quando se tem mais de dois elementos componentes, em mútua interação. Este foi o primeiro problema, apesar de matematicamente determinístico, genuinamente *complexo* da mecânica, enfrentado pelos físicos, o famoso *problema de três corpos*.

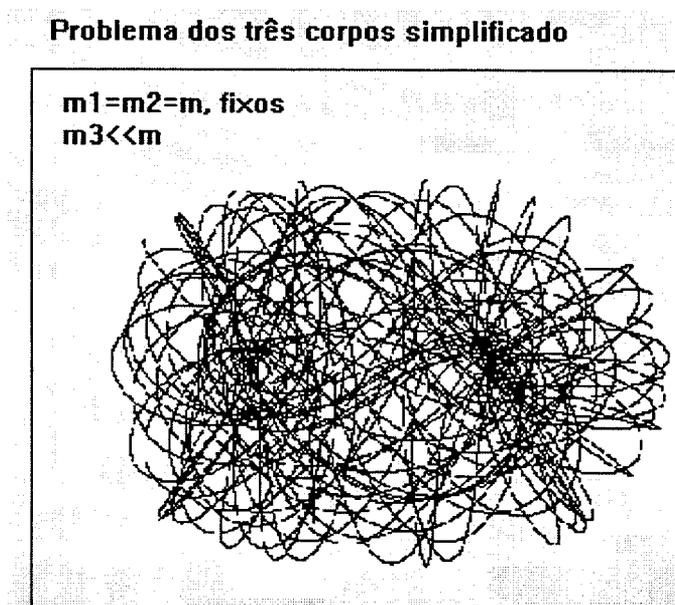
Este sistema *newtoniano*, mesmo em sua forma simplificada, quando se supõe que um dos corpos tem massa muito menor do que os outros dois, que por sua vez orbitam em trajetórias circulares ao redor do centro de massa do sistema, conhecido como o *problema reduzido de Hill*, exibe extraordinária complexidade e não tem solução analítica, como demonstrou Poincaré, em seu *Sur le Problème des Trois Corps et Les Equations de la Dynamique* [LORENZ, (1996); ÇAMBEL(1993)], permitindo apenas uma abordagem qualitativa, através do método, conhecido por *seções de Poincaré*. Esse método, largamente utilizado até hoje, no estudo de equações diferenciais não lineares, se resume em “*cortes*” ou *seções*, intersectando as curvas de solução no espaço de fase, formado pelas coordenadas espaciais e pelos momentos lineares, diminuindo a dimensionalidade do problema. Uma órbita periódica simples, como um círculo ou uma elipse, cruzará então a seção em apenas um ponto – um ponto fixo – enquanto órbitas periódicas mais complexas podem cruzar em vários

pontos antes de voltar ao primeiro e repetir o ciclo. Uma de suas descobertas, ao tratar deste problema, foi notar que as soluções não periódicas eram hiper sensíveis às condições iniciais e neste caso, uma de suas frases mais citadas é [ÇAMBEL, p. 22, op. Cit]:

*“...pode acontecer que pequenas diferenças nas condições iniciais produzam um grande efeito no fenômeno resultante. Um pequeno erro no começo produzirá um enorme erro no final. La prédiction devient impossible...”*

A figura (3.2.1.1), obtida com o *software* [SPROTT, (1995)], representa o problema simplificado dos três corpos, no qual duas massas iguais estão fixas e mostra a trajetória de um corpo de massa muito menor que as outras duas, sujeita à força do tipo gravitacional. As condições iniciais são tais que o movimento resultante se dá no plano (x,y). Nesse caso apresentado, tem-se total imprevisibilidade quanto à posição de  $m_3$ , em função do tempo.

**FIGURA (3.2.1.1):** Problema da mecânica dos três corpos, simplificado.



Fonte: [SPROTT J.C. et al, (1995)]

Curiosamente, os pesquisadores T. Y. Li e J. Yorke [LI, (1975)] encontraram o mesmo número “três”, ao definir a aparição do estado caótico de um mapeamento logístico discreto, num dos trabalhos pioneiros sobre a teoria do caos, cujo título é:

*“ Period three implies chaos.”*

A esse respeito escreve E. N. Lorenz, [LORENZ, (1996)]:

*“ Em um mapeamento logístico, uma sequência de período três é aquela na qual cada estado é idêntico ao estado ocorrido a três etapas antes, mas não ao ocorrido a uma ou duas etapas anteriores; sequências com outros períodos são definidas analogamente. Os autores mostraram que, para uma certa categoria de equações de diferenças, a existência de uma solução de período três implica a existência de uma coleção infinita de soluções periódicas, nas quais cada período possível – períodos 1, 2, 3, 4, ...- é representado. A elas se junta uma coleção infinita de soluções não periódicas. Essa situação, na qual qualquer tipo de comportamento pode, virtualmente se desenvolver, parece enquadrar-se na definição não-técnica de caos.”*

Pela importância que o problema do mapeamento logístico representa neste trabalho, no capítulo 3 será dada uma especial atenção para esse item.

É conveniente fazer uma distinção entre o que é complicado, daquilo que é complexo. Sistemas complicados são aqueles passíveis de serem decompostos em unidades básicas, sucessivamente menores, sem que as propriedades sistêmicas sejam perdidas, através de operações conhecidas de *redução*, definido na Introdução. Um novelo de lã todo embaraçado pode parecer um sistema aparentemente *complexo*, mas pode ser transformado, desde que se tenha suficiente paciência para tal, num simples fio. Uma característica fundamental em sistemas complexos é que toda vez que se aplica uma operação de *redução*, alguns liames entre os elementos componentes serão inapelavelmente rompidos, perdendo o sistema algumas propriedades, deixando de representar fidedignamente o sistema original, ou seja, *a soma das partes não representa o todo*.

*Não equilíbrio, não linearidade e imprevisibilidade exata*, são as maiores características de sistemas *complexos*. Alguns exemplos de problemas complexos, que frequentam o cotidiano de todos são: o repleto estádio de futebol, o fluxo de tráfego, a meteorologia, a dinâmica populacional, o comportamento organizacional, a opinião pública, a dinâmica urbana, o músculo cardíaco, o problema de *muitos corpos*, as epidemias, as operações de comunicação, os processos de combustão nos motores, o sistema financeiro mundial, os ciclos de negócio na economia e outros. De acordo com A. B. Çambel [ÇAMBEL,(1993)], as seguintes afirmações são válidas para a *complexidade* e para *sistemas complexos*:

- A complexidade pode ocorrer em sistemas naturais e em sistemas humanos, assim como em estruturas sociais.

- Sistemas dinâmicos podem ser muito grandes ou muito pequenos, assim como os componentes, coexistindo cooperativamente.
- A forma física desses sistemas pode ser regular ou irregular.
- Como regra geral, quanto maior for o número de componentes, tanto maior a probabilidade de ocorrência da complexidade.
- A complexidade pode ocorrer, tanto em sistemas conservativos, quanto dissipativos em energia.
- Esses sistemas não são, nem completamente determinísticos, nem totalmente aleatórios, exibindo ambas as características.
- Causas e efeitos em sistemas complexos não são proporcionais, ou seja são não lineares.
- As diferentes partes constituintes desses sistemas são ligadas afetando-se mutuamente, de maneira *sinérgica*.
- Esses sistemas exibem realimentação positiva ou negativa entre seus elementos.
- O nível de complexidade depende das características do sistema, do seu entorno e da natureza da interação entre os componentes.
- Esses sistemas são abertos, no sentido de que podem trocar matéria, energia e informação com as circunvizinhanças.
- Sistemas complexos tendem a produzir processos irreversíveis.
- Tais sistemas são dinâmicos e não em equilíbrio; são como se fossem a *jornada* e não o *destino*, a perseguir um alvo móvel.
- Muitos sistemas complexos não são *bem comportados*, no sentido matemático e produzem mudanças súbitas que sugerem relações funcionais não diferenciáveis, entre as partes.
- Podem exibir eventos rápidos e lentos, formas regulares e irregulares, corpos orgânicos e inorgânicos, coexistindo.
- Sistemas complexos se situam dentro de um espectro, partindo da mais perfeita ordem até a completa aleatoriedade[PAGELS,(1988)].

### 3.2.2. SISTEMAS INANIMADOS E VIVENTES

*“Uma luz nova e penetrante cai sobre o espetáculo, dotando os homens e as coisas de transparência, e mostrando como um único organismo a anatomia da vida, o movimento de toda a humanidade e a matéria animada incluídos na cena.”*

*The Dynasts*, em [HICKS, p.51, (1987)].

A separação tradicional, existente entre os dois tipos de fenômenos compreendendo, de um lado o universo inanimado e de outro, o dos seres vivos, foi e continua sendo objeto de debate quanto às “leis”, regendo um e outro caso. O universo inanimado, no qual a análise newtoniana tem tido incontestável domínio, privilegia a visão de um mundo estacionário, caracterizando, por exemplo, o movimento eterno dos astros em equilíbrio, seara na qual nasceu a termodinâmica, elaborada inicialmente por Carnot, Clausius, Thomson, Boltzmann e outros.

O outro universo é aquele dos seres vivos, de uma complexidade crescente, caracterizado pela aptidão dos organismos componentes de manter, desenvolver e de reproduzir suas organizações, desde as mais simples e primitivas colônias de protozoários, até as sociedades humanas mais complexas. Nenhum modelo físico foi capaz, até o momento de explicar os mecanismos auto-organizadores e auto-reprodutores, a partir da matéria inanimada, que deram origem, não apenas a aquilo que se conhece por vida, mas a essa forma complexa, consciente de sua própria consciência, que é o homem. Excetuando-se os modelos de inspiração religiosa, poucos existem como modelos teóricos explicativos sobre o aparecimento da vida, além do simples acaso, resumido na frase de J. Monod [Passet (1980)]:

*“A antiga aliança está rompida; o homem sabe enfim que está só na imensidão indiferente do Universo, de onde ele emergiu por acaso”.*

Ou citando A. Weinberg, da mesma referência anterior:

*“A vida aparece desde que a sopa [primordial] esteja pronta”.*

Previsibilidade do comportamento dinâmico de sistemas isolados, em ciências naturais, está relacionada aos conceitos de *entropia e ergodicidade*.

A *entropia* foi formulado matematicamente por Rudolf Clausius, em 1864, assumida como sendo uma variável de estado sempre crescente em sistemas isolados e associada ao grau de *desordem* deste sistema. Ela explicaria, por exemplo, porque o calor tem sempre um sentido de propagação, da fonte quente para a fonte fria, tendendo ao equilíbrio, à equalização das temperaturas, pois este seria o estado menos *ordenado* do que corpos com temperaturas diferentes. Este conceito foi posteriormente estendido e generalizado por Boltzman na mecânica estatística, particularmente na teoria cinética dos gases. É possível diminuir-se a

entropia de um sistema, tornando-o mais ordenado, através do dispêndio de energia externa ou acumulada internamente, mas, uma vez terminado este processo, o sistema tenderá ao seu estado de máxima entropia ou de equilíbrio.

Os conceitos associados à entropia, como a “energia livre” e “energia disponível de baixa entropia” foi estendido à economia [GEORGESCU-ROEGEN, (1971)], para descrever a forma que se dá o processo de transformação de “recursos naturais valiosos” em “lixo” ou formas de poluição industrial sem valor e, de como um eventual reprocessamento desse lixo, levaria a um balanço global entrópico desfavorável ao meio ambiente. Em outro trabalho, ao se referir à ilusão tecnológica, [GEORGESCU-ROEGEN, (1975)] escreve:

*“Com os cientistas naturais pregando a insuspeita capacidade da ciência de acabar com todas as limitações sentidas pelo homem, e com os seus seguidores, os economistas ignorando a relação entre a análise do processo econômico, com as limitações do meio material, não há surpresa no fato de ninguém se aperceber de que não podemos produzir “melhores e maiores” refrigeradores, automóveis e jatos sem produzir também “melhor e maior” lixo. Portanto, quando todo mundo era literalmente atingido na face pela poluição, os cientistas, bem como os economistas eram tomados de surpresa. Nem mesmo agora ninguém parece ver que a causa de tudo isto é que nós não reconhecemos a natureza entrópica do processo econômico. Uma convincente prova disto é que as autoridades em poluição atentam agora, por um lado, nos vender a idéia de máquinas e reações químicas que não produzem lixo, e por outro lado, a salvação através da perpétua reciclagem deste lixo. Não se pode negar que, em princípio, se pode reciclar até ouro disperso na água dos oceanos ou calor de baixa temperatura dos mares, mas em ambos os casos precisamos usar uma quantidade adicional de baixa entropia muito maior do que o acréscimo na entropia daquilo que é reciclado. Não há reciclagem sem custo, do mesmo modo que não há indústria sem lixo.”*

*Ergodicidade* na mecânica estatística significa uma condição de que somente uma integral de movimento, a energia total é conservada no tempo e trajetórias no espaço de fases, compatíveis com esta energia, acabam acontecendo, desde que se espere o tempo suficiente [ROSA, pp 85, (1995)], [OZÓRIO, pp 90, (1995)]. Sistemas *ergódicos* têm uma dinâmica que não depende das condições iniciais, ou seja, qualquer que tenha sido essas condições, o sistema visitará, permanentemente, o chamado “*eterno retorno*”, aos estados compatíveis com sua energia total. O pêndulo simples, por exemplo, é um sistema ergódico. A *não ergodicidade* está, portanto, correlacionada à irreversibilidade de contextos.

O *eterno retorno* [RUELLE, (1993)], é observado na evolução temporal de sistemas moderadamente complexos, mas não na evolução de sistemas muito complexos. Como exemplo, de um sistema moderadamente complexo, considere-se uma pulga sobre um tabuleiro de xadrez cercado, para impedir que ela fuja. Após algum tempo razoavelmente finito, poder-se-á observar a pulga retornar à casa inicial. Esse sistema pode se converter num sistema muito complexo, se ao invés de uma pulga, o sistema contiver cem pulgas, cada qual, distinguível uma das outras, inicialmente numa determinada configuração. A probabilidade de que exista uma configuração futura igual à observada inicialmente é certamente distinta de zero, mas não muito diferente deste valor, mesmo que se espere um tempo gigantesco. Este com certeza é um sistema pouco *ergódico*, portanto, para todos os efeitos, *irreversível*, pois a probabilidade de *eterno retorno* é ínfima, apesar de não haver nenhum impedimento do ponto de vista energético. Entretanto, se as pulgas forem *indistinguíveis*, esse sistema passa a ser moderadamente complexo, uma vez que configurações idênticas poderão ocorrer com grande probabilidade, em intervalos de tempo finitos. Essa foi justamente a hipótese utilizada por Boltzmann, nos primórdios da *mecânica estatística*, na qual, através da *teoria cinética dos gases*, explicava aspectos macroscópicos da *termodinâmica*. Este foi um dos casos mais bem sucedidos da aplicação do *reducionismo*, conceito a ser discutido adiante, nas ciências naturais.

Pode-se utilizar esse mesmo modelo de pulgas no tabuleiro, para se ilustrar outro conceito fundamental da física. Considerem-se as cem pulgas, todas elas inicialmente, numa só casa do tabuleiro. Após alguns instantes, o senso comum afirma que as pulgas estarão uniformemente espalhadas, ocupando todo o tabuleiro, apesar de não ser este fato, individualmente falando, o desejo de cada pulga. O sistema passa de um estado *ordenado* para um estado *menos ordenado*, mais caótico, *naturalmente*. Este é o resultado da Segunda Lei da termodinâmica, princípio acima enunciado, da variação sempre crescente, da *entropia* de sistemas isolados. Se ao invés de pulgas, considerar-se um enxame de abelhas, em circunvoluções pelo espaço, pode-se notar um efeito observado, *basicamente* por seres vivos, uma atitude na direção oposta ao princípio do aumento de entropia, ou seja, o fenômeno de auto-organização. O termo *basicamente* foi empregado para resguardar o que hoje é o cerne da pesquisa bio-molecular, qual seja a do estudo da *complexificação* e da *auto-organização* no universo inanimado, aplicado principalmente em proteínas e aminoácidos,

para explicar a formação dos ácidos nucleicos. Von Foerster [PASSET, (1980)], mostra como uma série de eventos aleatórios podem conduzir à aparição progressiva da *ordem*: fenômenos de auto-organização podem ser observados em cubos imantados, os quais, após uma agitação desordenada, tendem progressivamente a se ordenar. Entretanto, como resultado geral, pode-se afirmar que sistemas inanimados, cujos elementos constituintes não interagem mutuamente, isto é, têm *viscosidade* nula, não apresentam a propriedade de auto-organização e, de acordo com o segundo princípio da termodinâmica, a propensão desses elementos é a de se afastarem indefinidamente, ou ocuparem totalmente o espaço que os limita, semelhantemente ao que ocorre, quando um punhado de anilina é jogado numa piscina.

### 3.2.3. O TEMPO E O PÊNDULO.

*“Oh, Deus! Que fosse possível  
Desfazer as coisas feitas, voltar a ontem;  
Que o tempo virasse sua veloz ampulheta,  
Para recuperar os dias e redimir essas horas.”*  
A Woman killed with kindness, em [HICKS, p.97, (1987)].

O relógio a pêndulo foi inventado por Huygens e considerado na discussão sobre o *determinismo*, como o protótipo da *ordem e da previsibilidade*, como antítese às *nuvens*, ou ao total *indeterminismo*, por Popper, na seção (3.1). É um exemplo de um sistema dinâmico extremamente *simples e ergódico*, o *pêndulo* se constitui num dos primeiros sistemas previsíveis e isócronos, que se tem conhecimento, a ponto de ser utilizado como um meio de se estabelecer um padrão de escoamento, para essa entidade abstrata a que se chama de *tempo*. Na mecânica clássica não relativística, onde se dá a maioria dos fenômenos do cotidiano, o conceito de *tempo* está indelevelmente vinculado ao conceito de *movimento*, de tal forma que, num mundo absolutamente estático, não haveria forma de se detectar a sua variação ou seu possível *escoamento*. Entretanto, Newton em seu *Principia Matematica*, assume como postulado tal *escoamento uniforme*, ao afirmar [PASSET, (1980)]:

*“O tempo verdadeiro e matemático, em si mesmo e por sua própria natureza, corre uniformemente sem relação com nada do exterior, e de um outro nome é chamado de duração.”*

Na verdade, não se pode afirmar que tal *escoamento* se dá de forma contínua e num sentido único, como já afirmava Henri Poincaré, em *O Valor da Ciência*, [POINCARÉ, (1995)] e em, *o tempo é ilusão* [PRIGOGINE, (1996)], principalmente em se tratando de fenômenos quântico-relativísticos. Michel Serres [pp.78-79, op.cit., (1999)] faz a seguinte observação:

*“O tempo não corre sempre segundo uma linha, sem segundo um plano, mas segundo uma variedade extraordinariamente complexa, como se mostrasse pontos de parada, rupturas, poços, chaminés de aceleração fulminante, rasgos, lacunas, tudo isso inserido aleatoriamente, pelo menos numa desordem visível. Dessa forma, o desenvolvimento da história reúne de fato o que a teoria do caos descreve. Não é muito difícil, quando se compreendeu essa teoria, aceitar que o tempo não se desenvolve sempre de acordo com uma linha: que possa existir, portanto, na cultura, coisas que a linha fazia parecer muito distantes e que na verdade estão próximas, ou pelo contrário, muito próximas e que na verdade estão distantes. Considera-se Lucrécio e a teoria moderna dos fluidos como dois lugares separados por uma imensa distância, quando eu os vejo como vizinhos.”*

Antecipando a discussão no campo econômico, o efeito do *tempo* se dá de forma peculiar. J. Keynes, em sua *Teoria Geral do Emprego, do Juro e do Dinheiro*, em [ANDRADE, (1987)], discute como as expectativas individuais e coletivas *futuras*, influem, no *presente*, nas decisões capitalistas de investir e de produzir e, conseqüentemente, sobre o nível de emprego e da renda. M. L. Possas, em *Dinâmica e Ciclo Econômico em Oligopólio*, (1983) [ANDRADE, op.cit.], assim se expressa, sobre o tempo econômico:

*“A noção teórica tempo...envolve...três tipos de considerações...: a ação dos acontecimentos passados sobre as decisões presentes; o efeito, por interação do sistema econômico, das decisões presentes sobre as decisões futuras, no futuro; e o efeito das expectativas acerca dos acontecimentos futuros sobre as decisões presente. Em forma esquemática: a influência do passado sobre o presente, do presente sobre o futuro e do “futuro” (esperado) sobre o presente.”*

O terceiro efeito temporal, presente nos sistemas sócio-econômicos se constitui na principal diferença existente entre esses sistemas e os sistemas newtonianos clássicos, nos quais, como visto, o tempo *escoa* num só sentido, não havendo possibilidade do futuro *influir* no presente. Sobre esse particular aspecto conceitual do tempo econômico, diz Mário H. Simonsen, em [PINTO, (1999)]:

*“A seta do tempo transforma continuamente o presente em passado e o futuro em presente”.*

Retornando à análise do pêndulo físico simples, na presença de atrito e de uma força externa oscilatória de frequência  $w'$ , necessária para manter o sistema em movimento, poder-se-ia afirmar que esse aparato se constitui num sistema determinístico primário, facilmente equacionável e aparentemente, altamente previsível, cuja expressão matemática para a coordenada espacial  $x$ , é:

$$d/dt(dx/dt) + B.dx/dt + w'^2.x = A.sen(wt) \quad \text{eq. (3.3.a)}$$

Sendo  $B$  o coeficiente de amortecimento devido ao atrito,  $A$  a amplitude da força oscilatória e  $w$  a frequência dessa força. Na ausência de atrito ( $B=0$ ) e da força restauradora ( $A=0$ ), tem-se a conhecida equação diferencial do movimento harmônico simples (MHS), de frequência natural  $w'$ , dependente do comprimento do pêndulo e da gravidade. Entretanto, se não é este o caso, o movimento resultante pode ser extremamente complicado [HUBERMAN, (1980)] e [D'HUMIERES, (1982)]. Com  $w = 0,7$  e  $A = 0,4$ , se tem um movimento periódico simples. Entretanto, se  $A$  for igual a  $0,5$ , ainda se tem movimento periódico, mas o movimento resultante é bem mais complicado e para  $A$  igual a  $0,6$ , o movimento é totalmente *caótico e imprevisível*. É a literal transformação do *relógio*, altamente bem comportado de Popper, em *nuvem*, totalmente imprevisível. Portanto, dizer que sistemas newtonianos determinísticos, são incondicionalmente previsíveis, é uma afirmação negada a mais de cem de anos, por Poincaré, como já foi visto anteriormente. As figuras (3.2.3.1), (3.2.3.2) e (3.2.3.3), no espaço de fase, obtidos através do *software Chaos Demonstrations* [SPROTT, (1995)], mostram as três situações mencionadas.

FIGURA (3.2.3.1): Pêndulo forçado no espaço de fase, para  $A = 0,4$ .



FIGURA (3.2.3.2): Pêndulo forçado no espaço de fase, para  $A = 0,5$ .

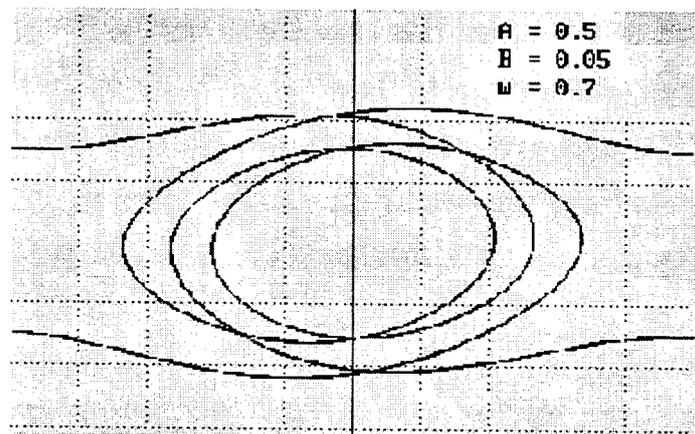
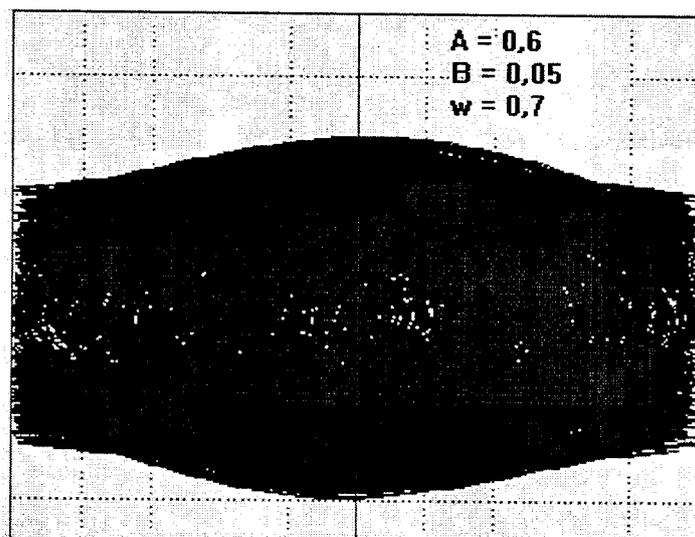


FIGURA (3.2.3.3): Pêndulo forçado no espaço de fase, para  $A = 0,6$ .



Fonte: [SPROTT J.C. et al, (1995)]

Finaliza-se esta seção, com uma citação de [CRUTCHFIELD J.P., (1986)]:

*“(...) existem sistemas que, apesar de estarem governados por relações precisas e bem conhecidas (suas equações determinísticas), apresentam um comportamento absolutamente imprevisível!”*

#### 3.2.4. REDUACIONISMO E HOLISMO.

*“Para ver um mundo  
num grão de areia  
e o céu numa flor silvestre,  
segure o infinito na  
palma de sua mão  
e a eternidade numa hora.”*  
William Blake.

A abordagem tradicional na pesquisa científica tem sido a metodologia analítica, o *reducionismo*. Em outras palavras, divide-se, sucessivamente, o problema escolhido em pedaços, cada vez menores, para se tentar compreender o funcionamento e a estrutura interna do *todo*, assumindo a validade das leis fundamentais da natureza, na descrição de fenômenos em escalas diferentes, do micro ao macro. Há dois pontos de vista principais, segundo M. Gleiser, físico do Dartmouth College, EUA, [GLEISER, (1998)]:

Primeiro, o *reducionismo* radical, afirma que, se se entender o comportamento das menores entidades materiais do mundo, as partículas subatômicas, poder-se-á estender este conhecimento a outros níveis, dos átomos às estrelas. Basta deslindar as leis fundamentais, que regem as interações entre as partículas elementares para, nas palavras de Stephen Hawking, “*compreendermos a mente de Deus*”. Na prática, os *reducionistas* sabem que tal extrapolação é no mínimo exagerada, para não dizer fantasiosa. O estudo das interações entre *quarks* e elétrons, não vai ajudar na compreensão do comportamento de átomos pesados, muito menos na replicação dos ácidos nucléicos.

Do outro lado, os *não-reducionistas* afirmam, tal como o Prêmio Nobel, Philip W. Anderson da Universidade de Princeton, que “*mais é diferente*”, ou seja, o comportamento de sistemas físicos com um número grande de elementos pode ser totalmente diferente daquele com poucos, que novas leis podem ser necessárias para fenômenos com muitos elementos. Um exemplo no terreno da sociologia, pode ser um prosaico jogo de futebol, onde o sistema é composto de milhares de torcedores e respectivos times, em um estádio. Enquanto o jogo não começa, o comportamento dos indivíduos pode ser explicado pelas leis “*locais*”, ou seja, pelas leis que regem o comportamento individual e de pequenos grupos, pois o efeito “*torcida*” ainda não ocorreu e o *reducionismo* é totalmente válido para descrição do todo. Entretanto, basta uma perturbação, aparentemente inocente do tipo entrada dos jogadores em campo ou o fato de uma esfera ultrapassar uma área retangular, após o início do jogo, para disparar um fenômeno totalmente desproporcional, representado por uma imensa balbúrdia, tais como fogos de artifício em profusão, bandeiras agitadas numa grande confusão e até um fenômeno “*ordenado*”, a famosa “*onda*”, que se propaga pelo estádio. A teoria *reducionista* é totalmente ineficaz para descrever esses súbitos fenômenos coletivos tipo “*torcida*”; novas leis e modelos, *não reducionistas* e *não locais* são necessários para explicar tais fenômenos,

semelhantes à formação de um turbilhão num fluido e nas transições de fase das substâncias. É como se o sistema tivesse atingido um número de Reynolds “social” elevado, conceito a ser definido e discutido na seção (3.2.5), a seguir.

Jules Henri Poincaré, cujo mérito foi adequadamente reconhecido, apenas tardiamente, em correspondência com Pierre Lecomte du Nouy, sobre a teoria cinética dos gases, então em voga, em verdadeiro preito *anti-reducionista*, escrevia [WALTERS, (1998)]:

*“Se por infelicidade eu viesse a conhecer as leis que as governam(as partículas do gás), então eu lhe seria inútil. Eu estaria perdido em cálculos infundáveis e eu jamais poderia lhe fornecer as respostas às suas questões. Felizmente para nós ambos, eu sou completamente ignorante sobre o assunto. Eu posso, portanto lhe fornecer uma resposta imediatamente. Isto pode lhe parecer estranho; mas existem coisas mais estranhas ainda, como por exemplo minha resposta estar correta.”*

Guardadas as devidas proporções e numa escala de importância muito menor, é o que se pretende fazer neste trabalho na seção (3.3.6), na qual o autor, também num confesso auto de ignorância e também de desinteresse em utilizar as *forças e mecanismos* típicos de *sistemas não inerciais*, fazendo uma livre associação com a mecânica, vigentes nas *teorias do investimento*, evitando o uso de conceitos como: *expectativas racionais, nível satisfatório de juros, lucros ou de estoques; tendência ao consumo, à poupança e ao investimento* seja dos capitalistas, seja dos trabalhadores; *defasagens investimento-produção; multiplicadores e aceleradores da renda* e outros - propõe um modelo bastante simplificado, ingênuo até, com um número mínimo de variáveis, para explicar as flutuações econômicas.

### 3.2.5. O NÚMERO DE REYNOLDS DA FLUIDODINÂMICA.

*“Hermes, enfim, transporta as formas de um lugar a outro, passando pelas correntes de ar. A síntese se fará antes entre os fluidos.”*

[SERRES M., p.98, (1999)]

*“(...) Perhaps the fundamental equation that describes the swirling nebulae and the condensing, revolving, and exploding stars and galaxies is just a simple equation for the hydrodynamic behavior of nearly pure hydrogen gas.(...)”*

Richard P. Feynman, [FEYNMAN, p. 41-11, (1963)]

A dinâmica dos fluidos, particularmente a turbulência é invariavelmente e justificadamente citada como um paradigma, sempre que o assunto *complexidade* vem à baila. Douglas Hofstadter, do *Fluid Analogies Research Group* [HOFSTADTER, (1995)], pesquisador na área de inteligência artificial e do assunto denominado *fluidity of human cognition*, escreve (p.307):

*“Conceitos de fluidez são necessários, eu acredito, para entender os aspectos emergentes de sistemas complexos(...).”* E das páginas 155 e 233: *“...um programa de computador cuja base teórica é o structure-mapping theory do psicólogo Dedre Gentner (1983). Após uma breve apresentação da teoria, o artigo de Waldrop, faz por meio de um exemplo(...) uma analogia com o fluxo de água através de um tubo(...).”*  
*“(...)Como ponto final é interessante notar que a fluidez não-metafórica – isto é, a fluidez física de líquidos como a água – está inextricavelmente ligada a ações aleatórias microscópicas.”*

Foi assunto para reflexão, para praticamente todos os grandes físicos, o fato de um fluxo tranquilo de um fluido transformar-se em espirais e redemoinhos. Segundo o folclore especializado [GLEICK, p.123, (1989)], um dos fundadores da mecânica quântica, o físico Werner Heisenberg, em seu leito de morte, teria dito que faria duas perguntas a Deus: 1-) por que a *Relatividade* ?e 2-) por que a *Turbulência*?; e teria concluído: *“Eu realmente acho que Ele deve ter uma resposta para a primeira pergunta”*. E o que seria a turbulência? Lewis P. Richardson, em [GLEICK, p. 123, op. Cit.] tem uma definição poética para o termo:

*“Grandes espirais têm pequenas espirais  
Que se alimentam da velocidade delas,  
E pequenas espirais têm espirais menores,  
E assim por diante até a viscosidade.”*

Traduzindo, a turbulência é uma porção de desordens em todas as escalas, pequenos redemoinhos dentro de redemoinhos maiores, num estado dinâmico muito instável, muito dissipativo em energia, criando arrastamento, de maneira aleatória. Um fluido agitado através de movimentos de baixa frequência, portanto com longos comprimentos de onda são decompostos em comprimentos menores num instante posterior. Formam-se, abruptamente, redemoinhos e dentro deles outros menores, cada qual dissipando a energia do fluido. Na década de 30, Andrei. N. Kolmogorov fez uma descrição matemática dos redemoinhos, supondo toda a cascata de energia descendo por escalas cada vez menores, até finalmente atingir um limite, no qual os redemoinhos se tornam tão pequenos, que predominam os efeitos maiores da viscosidade. Entretanto, teve de fazer muitas hipóteses simplificadoras, uma das

quais foi assumir que esses redemoinhos preenchiam todo o espaço do fluido, tornando-o igual por toda parte, fato não observado, experimentalmente e sim, o aparecimento da vorticidade localizada, e em regiões vizinhas de relativa tranquilidade. A grande questão é saber quando e em que condições a turbulência aparece, como um fluido atravessa o limite do regime suave para o turbulento, se existem fases intermediárias entre esses estados ou se ocorrem de forma brusca. O prêmio Nobel de física, Lev Landau propôs uma teoria reducionista sobre a formação da turbulência, que se tornou por muito tempo um paradigma, praticamente não contestado pelo meio científico [LANDAU, (1990)]. Para se entender os princípios dessa teoria, considere-se o movimento de um fluido viscoso. Ele se torna mais lento pelo atrito e tende ao repouso, a menos que se lhe forneça mais energia continuamente. Por exemplo, uma torneira aberta, com diferentes vazões apresentará fenômenos distintos, conforme a potência (energia/tempo) fornecida pela gravidade, para manter o fluido em movimento. Para uma pequena abertura da torneira, observar-se-á uma coluna estacionária de água, aparentemente imóvel. Abrindo um pouco mais, aparecem pulsações periódicas na coluna d'água e continuando a abrir mais, o movimento da coluna se torna muito irregular, turbulento. Essas situações sintetizam, basicamente, a sequência de fenômenos observada para um fluido, quando se fornece potência cada vez maiores para um fluido. O que Landau afirma é que quando se aumenta a potência aplicada, excita-se um número cada vez maior de *modos* do fluido.

Os *modos* ou *frequências normais de vibração* de um sistema físico são as frequências que esse sistema irá vibrar, caso seja submetida a uma perturbação externa, as quais dependem essencialmente, de sua composição física e da geometria do sistema. No caso de um pêndulo, tal frequência de resposta varia inversamente com o comprimento, portanto, períodos maiores de oscilação pertencerão a pêndulos com comprimento maiores. De maneira geral, sistemas “grandes” responderão com frequências menores que sistemas “pequenos”, como pode ser facilmente verificado, quando se compara um trombone com um trompete. A descoberta desse fenômeno oscilatório foi creditado a Galileu. Entretanto, segundo manuscritos devidos a Boécio Dimarogonas, filósofo romano [REIS, (1999)], Pitágoras já havia percebido o fato de que a altura ou frequência de vibração de um objeto, não dependia da intensidade da força com que esse objeto era golpeado, mas de suas propriedades físicas intrínsecas, tais como composição, tamanho, peso, comprimento, tensão e outras. Pode-se considerar que o conceito

de *modos de vibração* tornou-se um verdadeiro *paradigma*, para todos os fenômenos oscilatórios aproximadamente lineares, que aparecem na natureza. O problema, apontado por Ruelle, é que a extensão desse conceito, para descrever fenômenos oscilatórios *não lineares*, se torna problemática e não satisfatória [RUELLE, pp.71-77, (1993)].

Abrindo um parênteses, cabe aqui levantar uma objeção à afirmação de L. Tvede [TVEDE, p.146, op. Cit.], a propósito de um modelo reducionista dos *ciclos de negócio*:

“ *Business cycles may be compared to resonance in mechanical devices...* ”.

Os ciclos de negócio têm sido observados em praticamente todos os países dito capitalistas, sejam eles desenvolvidos ou não, ou seja, desde grandes economias industrializadas até pequenas economias em processo de industrialização. Uma característica comum, a todos esses países é que os períodos de oscilação desses ciclos são aproximadamente *iguais, independentemente do tamanho* dessas economias, contrariando a hipótese contida na teoria acima, que prevê oscilações mais longas para economias maiores. Aliás, uma das propostas deste trabalho será, justamente a proposição de um modelo, que não tenha esse tipo de inconsistência.

Como resultado geral, pode-se afirmar que esses *modos*, para cada sistema mecânico são *independentes*, ou seja, uma dada frequência não interfere em outra. De acordo com a teoria de Landau, quando um fluido é posto em movimento por uma ação externa, certo número de *modos* do fluido é excitado. Se nenhum *modo* é excitado, o fluido permanece em estado estacionário, embora possa estar em movimento lamelar. Se um só *modo* é excitado, ter-se-á uma oscilação periódica. Se vários *modos* são excitados, o movimento do fluido torna-se irregular e quando muitos *modos* são excitados, ter-se-á a turbulência. Essa é *grosso modo*, a teoria *reducionista* da *turbulência* de L. Landau.

Entretanto, experimentalmente, pode-se observar que os *modos* de um fluido turbulento são muito numerosos e formam, na prática, um espectro contínuo de frequências, diferentemente dos sólidos, que apresentam um espectro discreto. Como apontou David Ruelle [RUELLE, pp. 75-101, (1993)], a teoria de Landau da turbulência é insatisfatória em pelo menos dois aspectos. Primeiro, uma evolução temporal descrita por intermédio de *modos* não pode ter *dependência sensível das condições iniciais*, como se observa experimentalmente

num fluido, dada a construção *linear e reducionista* dessa teoria. Segundo, de acordo com o paradigma dos *modos*, um espaço de dimensão finita só pode descrever um número finito de *modos*. No entanto, a análise em termos de frequência faz surgir, bruscamente, um espectro contínuo de frequências, que deveria corresponder a uma infinidade de *modos*, enquanto que a teoria de Landau, quando se excita um fluido pela ação de forças externas cada vez maiores, prevê o aparecimento gradual de um número cada vez mais alto, porém finitas, de frequências independentes no fluido. Haveria necessidade de supor que tais *modos* entrassem em interação mútua para se gerar outras frequências, contrariando, assim o princípio da independência dos *modos*.

Uma nova abordagem do problema, a teoria não linear do *atrator estranho*, proposta por Ruelle-Takens [RUELLE, op. Cit.], por outro lado, prediz o aparecimento brusco de um espectro contínuo de frequências, além de apresentar hipersensibilidade às condições iniciais. Surge um novo paradigma, batizado como *caos* por T. Li e J. Yorke [LI, (1975)], para explicar fenômenos até então evitados, dada a sua complexidade, de serem tratados, a começar por Poincaré, há mais de cem anos. Esse novo paradigma admite que a evolução temporal de sistemas complexos pode se dar sobre trajetórias limitadas pelo chamado *atrator estranho*, uma figura geométrica no espaço de fase, e não sobre trajetórias *newtonianas* determinísticas.

O *atrator estranho* vive no espaço de fase, como escreve Gleick, [op. Cit, p.135], uma das “invenções” mais poderosas da ciência moderna, para se lidar com a complexidade. O espaço de fase permite a transformação de números em imagens, transportando todas as informações relevantes de um sistema dinâmico, para uma mapa cartográfico de suas possibilidades. No caso do pêndulo, como já foi visto, o *atrator* pode ser uma elipse, para o caso estacionário ou uma área delimitada, no caso caótico. No espaço de fase, o conhecimento total sobre um sistema dinâmico num determinado instante resume-se a um ponto, que vai mudando de posição, a medida que o sistema evolui no tempo. Os sistemas complexos, apesar de apresentarem uma dinâmica não linear, imprevisíveis, no caso geral, seguem trajetórias não aleatórias. Seguem trajetórias sobre o atrator, para onde convergem todas as trajetórias. Dado dois pontos, arbitrariamente próximos, no instante inicial, é impossível saber onde estarão em tempos posteriores, mas se sabe que estarão em algum lugar no *atrator*.

Voltando ao problema dinâmico do fluido, ou seja, a passagem do regime lamelar para o regime turbulento é determinado, tradicionalmente, pelo valor crítico do conhecido número de *Reynolds*,  $R$ , que depende da velocidade  $v$  do fluido, da sua densidade  $\rho$ , da viscosidade  $\mu$  e um comprimento característico  $L$ . Esse número  $R$  é definido por [FEYNMAN, p.41-5, (1963)]:

$$R = \rho.v.L/\mu$$

Nessa equação, o numerador representa as forças de *inércia* do fluido, enquanto que o denominador representa as forças de *viscosidade*. O número  $R$  mede, portanto, a relação entre essas duas forças no fluido, cujo fluxo será lento e pegajoso se o denominador for grande e rápido se  $\mu$  for pequeno. Experimentalmente se observa que, quanto maior o número  $R$ , maior a possibilidade de ocorrência de turbulência, na presença de um obstáculo. Assim, de maneira geral, valores de  $R$  acima de 2000, significará regime turbulento e  $R$  abaixo desse valor ter-se-á escoamento lamelar. A figura (3.2.5.1) apresentada a seguir, extraída da referência anterior, mostra o comportamento de um fluido em movimento, na presença de um obstáculo cilíndrico, para diversos valores do número de Reynolds.

Dependendo do valor de  $R$ , o fluxo pode assumir um sem número de configurações, das quais algumas delas estão representadas acima. Para  $R = 10^{-2}$  o fluxo é estacionário e lamelar em torno do cilindro. Esse é o caso em que as forças de inércia são desprezíveis, portanto o fluxo pode ser descrito pela equação:

$$\nabla^2 \Omega = 0$$

Conhecida como equação de Stokes, que a solucionou pela primeira vez, tanto para o cilindro quanto para uma esfera.

FIGURA (3.2.5.1): Comportamento de um fluido, em presença de obstáculo, para diversos valores do número de Reynolds.

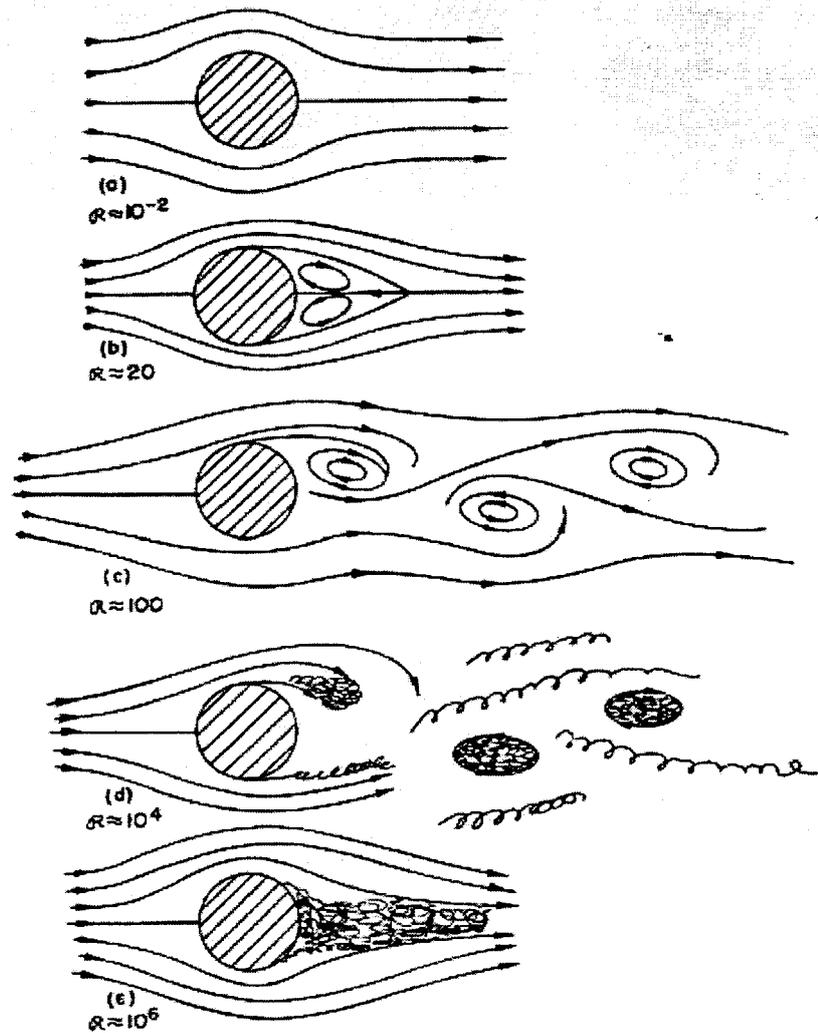


Fig. 41-5. Flow past a cylinder for various Reynolds numbers.

Fonte: [FEYNMAN, (1963)]

Para  $R \approx 20$ , aparecem dois vórtices regulares, atrás do cilindro, os quais começam a se deslocar no sentido do fluxo, para formar outros vórtices, conhecidos como *Kármán vortex street*, quando  $R$  se está em torno de 100. Finalmente para valores de  $R$ , acima de  $10^5$  ocorre o regime turbulento. Repetindo, para realçar o seguinte fato a ser utilizado adiante: o valor de  $R$  pode variar positivamente, e portanto, mais vulnerável à turbulência, ou pelo aumento da densidade ou pela diminuição da viscosidade, nesse último caso, significando um aumento dos graus de liberdade do sistema. A medida que a viscosidade diminui tendendo a zero, o número de Reynolds tende a infinito, significando um fluido extremamente turbulento.

Entretanto, fatos estranhos começam então, a acontecer, cuja abordagem teórica representa hoje, um campo de vanguarda na pesquisa científica, conhecido como o estudo das *transições de fase*, comuns em diferentes ramos da ciência. Assim, o fenômeno da passagem da água para vapor, do gelo para água, do câmbio de polaridade magnética, a passagem para o estado de supercondutividade elétrica, e mesmo de mudanças sociais, apresentam analogias e configurações dinâmicas semelhantes tais, que se torna irresistível uma tentativa de abordagem teórica unificada, englobando todos esses fenômenos.

Parece fora de dúvida, que a abordagem *reducionista* é ineficiente, em se tratando do entendimento de sistemas complexos, como diz o prêmio Nobel de física Murray Gell-Mann, em *Simplicity and Complexity in the Description of Nature* [ÇAMBEL, (1993)]:

*“Eu tenho dispendido a maior parte de minha carreira trabalhando no nível mais básico, aquele concernente às leis fundamentais da física...Até que ponto a chamada redução de cada nível da descrição científica em termos mais elementares é possível? Quando possível, até que ponto é uma boa estratégia a ser seguida?”.*

O físico-químico e filósofo social Michael Polanyi, em *The Study of Man* [ÇAMBEL, (1993)], sugere dois níveis de realidade, na descrição de uma *máquina*: o superior representado pela própria máquina e o nível inferior, representado pelas partes da máquina, que em suas palavras:

*“...a parte superior desses dois níveis é de fato não especificável em termos da parte inferior. Tome-se um relógio desmontado e examine cuidadosamente cada uma de suas partes em separado e você nunca descobrirá os princípios pelos quais o relógio marca o tempo”.*

Em alguns casos o sistema complexo pode ser visto como um enorme mosaico feito de pequenas peças cerâmicas, ou um caleidoscópio feito de espelhos e pequenos cacos de vidro colorido. O exame minucioso de cada peça componente destes objetos, jamais fornecerá a visão às vezes impressionante, que o conjunto pode proporcionar. Isso pensado de maneira estática, que dirá de forma dinâmica. Este argumento é particularmente verdadeiro, como será visto adiante, no caso da economia, no qual as explicações dos movimentos intestinos macroeconômicos, não podem ser feitas através de variáveis locais e seus valores momentâneos, pois corre-se o risco de se estar caindo em *tautologias* e se estar descrevendo, na realidade, meros epifenômenos “locais”, justificando esses movimentos.

J. A. Schumpeter, ao discutir os aspectos individuais microscópicos, no contexto de Walras e Marshall, responsáveis pelos estados estacionários e as condições em que se dá o equilíbrio econômico, afirma [SCHUMPETER, p.14, (1989)]:

*“O senso comum nesse tipo de análise pode ser formulado como segue: se tratamos, por exemplo, de um organismo de um cão, a interpretação do que observamos se divide imediatamente em duas abordagens. Nós podemos estar interessados nos processos vitais ocorrendo no cão, tais como a circulação do sangue, sua relação com o mecanismo da digestão e assim por diante. Entretanto, por mais que entremos nos detalhes e por mais bem sucedidos sejamos, em relacioná-los mutuamente, não nos ajudará em descrever ou entender como criaturas como os cães existem.”*

Valéry, em *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*, em [BARTOLI, pp. 260-261, (1996)], comenta, a propósito do tratamento de sistemas complexos:

*“Nosso pensamento não pode ser nem demasiadamente complexo, nem demasiadamente simples, pois o real, que ele pretende descrever, é de uma complexidade infinita - intangível.”*

E J. L. Le Moigne, em *La modélisation des systèmes complexes*, para quem a modelização sistêmica deve se situar na linha epistemológica construtivista, na referência anterior:

*“A inteligibilidade do complicado se faz por simplificação, enquanto que a inteligibilidade do complexo se faz por modelização.”*

E do próprio Bartoli [op.Cit.]:

*“Modelizar é substituir uma realidade social visível e complexa, por uma realidade social invisível e mais simples, que tenha a capacidade de representá-la e encontrar, nessa capacidade, a confirmação de sua validade. A modelização permite tratar com rigor a realidade “possível” a partir das condições que se supõe reunidas ou suscetíveis de sê-las, de forma a tratar a complexidade “possível”, como uma complexidade “inteligível”.”*

Concomitantemente é necessário um esforço na direção de se produzir um método de entender, mesmo qualitativamente, o conteúdo das equações diferenciais. Na referência [FEYNMAN, pp. 41-1 a 41-12] esse autor mostra a tremenda quantidade de fenômenos e comportamentos físicos se escondem, numa simples equação da hidrodinâmica, do tipo:

$$d/dt(\Omega) + \nabla \times (\Omega \times \mathbf{v}) = (1/R) \nabla^2 \Omega$$

onde,

$$\Omega = \nabla \times \mathbf{v}$$

$\mathbf{v}$  = velocidade do fluido

R = número de Reynolds

$\nabla$  e  $\nabla^2$  = operadores diferenciais (*divergente e laplaceano*)

$\times$  = produto vetorial

Essa equação descreve uma infinidade de situações hidrodinâmicas, dependendo das condições de contorno, iniciais e do *número de Reynolds*, sendo que somente uns poucos casos particulares foram explorados até hoje, essencialmente por deficiência matemática e, ainda assim, somente para números de Reynolds muito pequenos, ou seja, em meios completamente viscosos. Segundo suas palavras, finalizando essa seção:

*“Hoje não sabemos enxergar o quanto uma equação de Schrödinger (da mecânica quântica) contém sapos, compositores musicais ou moralidade – ou não contém. Nós não podemos dizer o quanto algo além disso (da equação), como por exemplo, Deus é necessário, ou não.”*

### 3.3. PREVISIBILIDADE EM SISTEMAS ECONÔMICOS E ANALOGIAS COM SISTEMAS FÍSICOS COMPLEXOS.

*“I know that history at all times draws strangest consequence from remotest cause”.*  
T.S. Elliot, *Murder in the Cathedral*, 1935, Part I

#### 3.3.1. EQUILÍBRIO E LEIS NA ECONOMIA.

A polêmica sobre a classificação das ciências sociais e em particular a economia, como ciência no sentido tradicional, é antiga e um tema ainda não esgotado. Segundo Claude Bernard, [FUKS, p.115, (1995)]:

*“A ciência é determinação e é determinável”.*

Essa frase contém a pilastra fundamental, condição *sine qua non*, para uma dada disciplina do conhecimento humano ser considerada uma ciência, ou seja, a repetibilidade da experiência, a confirmação de um resultado experimental *ad nauseam* e a possibilidade de se antecipar este resultado, via modelos matemáticos. Não se dará aqui, neste estudo, em função dos objetivos pretendidos, uma atenção às eventuais diferenças *metafísicas* existentes entre as disciplinas e sistemas ditas sociais, entendendo que o aspecto, realmente relevante, no desenvolvimento deste trabalho, é a composição microscópica desses sistemas, que a diferencia dos sistemas naturais, ou seja, a participação do ser humano. Isso é, obviamente, uma grande simplificação, pois, colocar num mesmo saco, disciplinas como a sociologia e a economia é, para dizer pouco, uma heresia, e segundo as palavras de Pierre Bourdieu [BOURDIEU, (1999)]:

*“[...] Posso voltar à questão da cientificidade das ciências sociais e, particularmente, da sociologia. Devo salientar, antes de tudo, que a sociologia tem o triste privilégio de ser a única disciplina para a qual essa pergunta nunca pára de ser posta, quando, na realidade, ela nada tem a invejar, bem ao contrário, das outras ciências sociais; nem quanto aos métodos, modelização, uso da estatística, técnicas de coleta de dados, nem quanto aos conceitos e teorias, especialmente a etnologia e a história. A comparação com a economia exigiria uma análise mais complexa. [...] além disso, a sociologia possui um instrumental teórico ao mesmo tempo, mais unificado e mais ajustado ao real do que o das demais ciências sociais, inclusive a economia.”*

Em relação ao cotejamento das ciências sociais com as ciências físicas, o prêmio Nobel Frederick Soddy chegou ao exagero de afirmar, em *Wealth, Virtual Wealth and Debt*, [WALTERS, (1998)]:

*“A vida, apesar de tudo, continua a obedecer as leis da física. Ela trabalha de acordo e não contra os princípios das ciências físicas. Nenhum indivíduo nem comunidade pode escapar das leis que regem a matéria e energia, contudo eles podem aplicá-las aos próprios fins.”*

A tentativa de se formalizar, matematicamente, o futuro econômico e social de um país através de modelos rigidamente deterministas, seduziu boa parte dos cientistas sociais, a começar pelos economistas clássicos anglo-saxões. John Locke, em *Segundo Tratado sobre o Governo Civil* (1689) em [BURLAMAQUI, (1993), pp14], escreve:

*“Existem leis da natureza que governam a sociedade humana, leis semelhantes às que governam o universo físico.[...] Assim, a função do governo não seria impor suas leis às pessoas, mas antes, descobrir e fazer valer as leis naturais que existiam antes de qualquer governo ter sido formado”*

Popper, no artigo *Engenharia social passo a passo* (1944), em [POPPER, (1995), pp326], aponta uma série de “leis econômicas” enunciadas de maneira muito semelhante às leis naturais da física, principalmente, quando colocadas de forma negativa, como por exemplo, a segunda lei da termodinâmica: *não se pode transformar integralmente calor em energia mecânica*. Como exemplos de leis *econômicas*, as quais, longe da concordância unânime pelos economistas e que parecem depender explicitamente do tempo, num caso ou outro, podem ser citados:

- Não se pode fixar preços aos produtos agrícolas e ao mesmo tempo abaixar o custo de vida.
- Não se pode, em uma sociedade industrial, organizar grupos de pressão de consumidores, tão eficazmente, como se pode organizar certos grupos de pressão de produtores.
- Não se pode ter uma sociedade centralmente planejada com um sistema de preços, que satisfaça as principais funções dos preços competitivos.
- Não se pode ter pleno emprego sem inflação.

- Não se pode implantar uma reforma política sem fortalecer as forças opositoras, num grau que em termos gerais, seja proporcional ao alcance das reformas.
- Não se pode fazer uma revolução sem causar uma reação.
- Não se pode fazer uma revolução triunfante, se a classe dominante não está debilitada, ou por dissensões internas ou derrota numa guerra (Platão, livro VIII de *A República*).
- Não se pode dar poder a um homem sobre outros homens, sem tentá-lo a utilizá-lo mal, tentação que em geral aumenta com a quantidade de poder que exerce, e que muito poucos são capazes de resistir ( lei de lord Acton, da corrupção).

Essas “leis”, além de não representarem um consenso generalizado entre os economistas e sociólogos, têm validade espaço-temporal muito variada, sendo apenas meros exemplos de classe de afirmação, necessários para se construir e substanciar o que Popper chama de *engenharia passo a passo*.

Adam Smith foi discípulo de Locke e seu herdeiro mais representativo, lançando as bases do liberalismo econômico, afirmando que as interações sociais dos indivíduos se efetivam através das relações mercantis, expressas na idéia do mercado auto-regulado por leis intrínsecas à sua própria natureza. Em sua mais famosa obra, datada de 1776 [SMITH A.,(1954)], formaliza o arcabouço teórico da principal teoria política clássica do século XVII, introduzindo o conceito de preço natural de forma semelhante ao conceito newtoniano da gravitação:

*“O preço natural é o preço em torno do qual os de todas as mercadorias estão gravitando continuamente”.*

Frank Hahn, em seu *General Equilibrium Theory* [BURLAMAQUI, op.Cit.], atribui a Adam Smith a introdução, na teoria econômica, de um axioma fundamental para o seu desenvolvimento subsequente: o da *“tendência ao equilíbrio no longo prazo”*, isto é, o postulado de que os resultados do funcionamento do sistema econômico seriam, *“naturalmente, a estabilidade, a ordem, e a satisfação dos agentes econômicos”*.

O instrumento pelo qual tal equilíbrio se materializaria seria sua famosa *mão invisível do mercado*, fornecedor de todas as informações necessárias aos agentes econômicos tomarem as decisões apropriadas. A *resultante das forças de mercado*, ainda no sentido newtoniano, seriam os *preços de equilíbrio*, embutindo uma *taxa de lucro homogênea*, em todos os setores da atividade econômica. David Ricardo, em 1867, seguindo a tradição de Smith, afirma [RICARDO, (1982)]:

*"[...estar tratando] das leis que regulam os preços naturais, os salários naturais e os lucros naturais..."*

No congresso realizado em 1988, no Santa Fe Institute, EUA, sob o tema *The Economy as an Evolving Complex System*, economistas, físicos e biólogos matemáticos se reuniram, para discutir sobre a conveniência e possibilidade de se encontrar um arcabouço teórico-matemático adequado, para representar de forma similar, a dinâmica de fenômenos associados às citadas disciplinas. Uma das conclusões foi [ARROW K., p.248, (1988)]:

*"Um dos pontos que se pode realçar é que a economia parece ter propriedades de estabilidade notáveis: acidentes externos ou tem pequenos efeitos, ou os efeitos (como as guerras) são importantes, mas absorvidas rapidamente."*

É, contudo, muito pessimista no que concerne à simplificação teórica da economia, continuando:

*"Isso sugere, que existem leis muito robustas para a evolução temporal da economia e, que, seria relativamente fácil o estabelecimento de tais leis. Entretanto, olhando mais cuidadosamente, conclui-se que sucessivas adaptações da economia às sucessivas crises, não correspondem aos mesmos fenômenos: as crises são diferentes e suas soluções são diferentes. Esse lembrete torna menos esperançosa, a perspectiva de encontrar leis simples, para a evolução da economia no tempo."*

A. Marshall no seu *Princípios de Economia* (1890), afirma [MARSHALL, (1946)]:

*"Uma ciência progride através da ampliação da quantidade e da precisão das leis que constituem seu objeto de investigação"*

Embora o universo do sistema econômico auto-regulável tendendo à ordem e o conjunto de *preços de equilíbrio newtoniano*, dentro da moldura naturalista-determinista, não traduzir os

pensamentos de Carl Marx, percebe-se a grande influência de tais paradigmas em seu *O Capital*, no prefácio à primeira edição [MARX, (1982)]:

“...dos antagonismos sociais que decorrem das leis naturais da produção capitalista [...] que atuam e se impõem com necessidade férrea”.

O princípio do *equilíbrio geral* aparece a primeira vez com L. Walras em 1874, em seu *Elementos de Economia Política Pura* [WALRAS, (1986)] e utilizado posteriormente em 1939, por J. Hicks em *Valor e Capital* [HICKS, (1987)], para interpretar as idéias de Keynes sobre o equilíbrio de curto prazo, apesar das fortes restrições de Hicks [HICKS, (1977)] à figura do misterioso *leiloeiro*, de Walras, cuidando para que o sistema econômico operasse segundo os princípios da “justiça” enraizado na filosofia naturalista tradicional.

A dinâmica newtoniana não é senão o que foi dito anteriormente, “*um eterno retorno*”, no sentido *ergódico* e a termodinâmica de Carnot, através do conceito de *entropia*, aquele “*caminhar no sentido da desordem*”. Segundo R.Passet [PASSET, (1980), pp.5,6], os esquemas clássico e o marxista, cada qual em sua respectiva esfera, econômica e social, incorporam as características de reversibilidade, com o *eterno retorno*, não criador e externo aos homens. Externo aos homens, porque se pressupõe a existência de uma ordem estrutural da natureza, que lhes impõe sua lei. A atração gravitacional regula o movimento dos astros, como a conjunção dos interesses individuais desemboca no *equilíbrio geral*, no qual cada elemento se situa em harmonia com o todo, do qual ele é interdependente, cada ponto *sabendo* tudo o que deve *saber*, cada estado contendo a verdade de todos os outros. O indivíduo ou o elemento se submete à lei de um todo, fora de seu alcance, a qual nada pode mudar. A analogia emerge imediatamente: o nível geral dos preços, segundo J. Rueff, em *Des sciences physiques aux Sciences morales*, [PASSET, op.cit.,pp.6-7]:

“*está ligado ao volume da demanda e da oferta através da relação  $d=qp$ . A simples forma dessa equação evoca a fórmula fundamental da mecânica, que liga a força à massa e à aceleração:  $f=ma$* ”.

O filósofo K. R. Popper vê com desconfiança o “*cientifismo*” nas ciências sociais, principalmente na economia, sem descartar a existência de “*leis econômicas*”, rechaçando,

entretanto, a utilização de “sociologias tecnológicas”, no planejamento econômico e, segundo suas palavras, [POPPER, (1995),pp.315]:

*“ [...] Portanto, a economia não pode dar nos nenhuma informação valiosa sobre as reformas sociais. Somente uma pseudo-economia pode pretender dar nos um marco racional para o planejamento econômico. A economia verdadeiramente científica só pode ajudar nos a revelar as forças que impulsionam o desenvolvimento econômico, através de diferentes períodos históricos. Pode ajudar nos a prever as linhas gerais de períodos futuros, mas não pode ajudar nos a criar e colocar em operação nenhum plano detalhado para nenhum período histórico futuro. O que é aplicável às demais ciências sociais, deve aplicar-se também à economia. Sua meta só pode ser “colocar a descoberto a lei econômica do movimento da sociedade humana” (Marx)”.*

Na opinião do eminente economista J. Schumpeter, que durante toda a sua vida acadêmica buscou, sem sucesso, compatibilizar suas proposições sobre o desenvolvimento capitalista com a estrutura walrasiana do equilíbrio geral, a economia é apenas uma ciência observacional e interpretativa, e segundo suas palavras:

*“Se considerarmos que a característica definidora da ciência consiste no emprego de métodos semelhantes ao da física e da matemática, é evidente que a economia, considerada como um todo, não deve incluir-se em seus domínios” [SCHUMPETER, (1964)].*

Finalizando, é oportuno fazer uma breve descrição das duas abordagens “científicas”, ambas de “esquerda”, da economia, segundo artigo de Bruno Latour [LATOUR, (1999)], contrapondo as idéias de Marx com as de Karl Polanyi. Para o primeiro, a economia como coisa existe e serve de infra-estrutura indiscutível para o resto da vida social. Para Polanyi, pelo contrário, é justamente essa crença que permitiu o florescimento do capitalismo. Para ele a economia como coisa provém da economia como disciplina ou, como diriam os ingleses, que distinguem esses conceitos com palavras distintas, “economies are produced by economics”. Traduzindo, segundo as palavras de Latour:

*“a economia como disciplina não “descreve” o mercado autoregulado, mas antes o “executa”, isto é, o produz por imposição mais ou menos violenta daquilo que ele deve ser. A ciência econômica não descobre as leis indiscutíveis da natureza social: ela oferece uma interpretação cuja extensão é indispensável à sua continuação. [...] Para Polanyi é absolutamente proibido acreditar que a ciência econômica descreva o mundo do qual fala. Ela “prescreve” a forma que deseja que se passe usar para falar do mundo. [...] Enquanto, para Marx, a história obedecia a uma lei dialética pela qual o socialismo “concluía”, em*

*todos os sentidos da palavra, a economia burguesa, para Polanyi, a história dos dois últimos séculos é aquela da resistência legítima de toda vida social contra a interpretação dada pela economia para os fenômenos disparados sob seus auspícios.”*

### 3.3.2. DIRIGISMO, INDIVIDUALISMO, DETERMINISMO E PREVISIBILIDADE NA ECONOMIA.

*“J’aime la règle qui corrige l’emotion”*  
George Braque<sup>1</sup>

*“Fazemos hoje, voluntariamente, coisas que antes os homens se recusavam a fazer - ou, pelo menos, de que reclamavam, tendo de ser chicoteados para realizá-las. Fazemos as mesmas coisas independentemente da época do ano, da hora do dia, numa coação internalizada dentro do tempo contínuo, vazio e linear, já inscrito em nós.”*

Robert Kurz<sup>2</sup>

Essa seção será dedicada à tentativa de substanciar e tecer os argumentos emprestados à psicologia social, com a finalidade de mostrar os aspectos comuns e os mecanismos “naturais”, através dos quais um sistema social acaba se comportando, muitas vezes, de forma e com características semelhantes a um fluido *viscoso*. A difícil e ingrata tarefa será a tentativa de identificar os liames e vínculos e as respectivas “ligações”, que os componentes do tecido social experimentam dinamicamente e que, abusando da “livre associação”, seriam “equivalentes”, numa ótica muito particular e parcial, às interações existentes entre as moléculas componentes de um fluido, produzindo o que se conhece como comportamento *viscoso*. Necessitar-se-á, para tal digressão, do auxílio das idéias provenientes da sócio-psicologia, que serão apresentadas na seqüência desta seção.

As referências aos autores e conceitos, concernentes à sócio-psicologia, citados no decorrer desta, estão no livro *Teorias das Organizações*<sup>3</sup>, do qual foi extraído, praticamente, *ipsis litteris*, o conteúdo desta seção. O principal conceito analisado é o *dirigismo*, que remonta aos primórdios desse século, para pensar a sociedade como um *sistema eficaz de controle social*, via *redução da variabilidade humana*. Autores como Likert, Kahn, Wolfe, Quinn, Snoeck, Rosenthal e Katz

<sup>1</sup> em [DE MASI, p. 13, (1999)].

<sup>2</sup> [Folha de São Paulo, Mais!, p.30, (23/01/2000)].

<sup>3</sup> [MOTTA, (1980)]

preocuparam-se basicamente com o mesmo tema, procurando modelos teóricos comportamentais, para um tratamento mais preciso da questão do conflito e da ambigüidade organizacional. Em particular, Likert preocupou-se com a análise sociométrica humana, ou seja, o estudo do homem e o meio, em sua mútua influência e interação. Cada indivíduo, em seu *papel*, age de forma a se relacionar com os demais em seus respectivos *papéis*. Ao conjunto dessas ações é chamado *comportamento do papel*. Cada indivíduo, no seu *papel*, mantém igualmente determinadas expectativas em termos dos *papéis* desempenhados pelos demais e procura transmitir-lhes essas expectativas.

Nesse sentido, o conceito de *inclusão parcial*, que realça a não-desejabilidade da absorção dos indivíduos em sua plenitude de comportamentos, normas e valores tidos como relevantes para o funcionamento do sistema. Esse *dirigismo* é encontrado na produção soviética e francesa na análise sistêmica no campo das organizações. Em 1908 o biólogo russo Bogdanov rompe com Lenin, por não aceitar o materialismo dialético como visão científica universal, propondo uma corrente dissidente, conhecida como *tectologia*. Essa teoria de Bogdanov tem vários pontos em comum com a *teoria geral dos sistemas* de von Bertalanffy, no qual ele destaca a importância das formas de organização comuns a todos os sistemas na diferenciação entre sistemas fechados e abertos e nos conceitos de *homeostase*, *morfogênese*, *entropia*, *retroalimentação* e *codificação*. No tocante à *codificação*, Bogdanov distingue a seleção *progressiva* da seleção *negativa*, a primeira refletindo uma tendência natural dos sistemas altamente organizados de absorver continuamente a variedade ambiental. A segunda diz respeito à seleção consciente de insumos ambientais, em caso de saturação, com vistas ao desempenho eficaz do sistema. Os principais herdeiros das idéias de Bogdanov são, atualmente, Jampol'skaja, Tikhomirov, Bachilo, Remnev, Sergienko e Kakovin. Jampol'skaja, em especial, ressalta as vantagens da análise sistêmica das organizações em termos de interdependência, estrutura e processo e do aperfeiçoamento do sistema de informações em termos do sistema organizacional global, ou seja, do Estado. Na produção ocidental francesa o *dirigismo sistêmico* está, principalmente, nas obras de Michel Crozier e Erhard Friedberg, que entendem a organização como um sistema de ação coletiva, incluindo em suas teorias, as conquistas sociais, traduzidos em liberdade e autonomia,

construindo um sistema administrativo capaz de canalizar eficientemente a complexidade para o desempenho ótimo do conjunto. O desenvolvimento organizacional, fundamentada nas idéias da sócio-psicologia tem basicamente por objetivo estar a serviço do controle social e do produtivismo, como será exemplificado mais adiante. Os Estados Unidos são um exemplo regularmente citado, como estudo de caso, do *dirigismo sistêmico*. Guerreiro Ramos diz, por exemplo, que a aplicação do *dirigismo* na sociedade americana nada tem a dever ao *dirigismo* soviético, diferenciando-se apenas na forma, a qual acaba sendo intensificada quanto às questões relacionadas à integração de condutas individuais, especialmente difícil num país relativamente carente de uma sedimentação de tradições e usos próprios. A teoria das organizações, nesse caso, reflete, talvez mais do que qualquer outra, essa questão da preocupação com a integração numa sociedade diferenciada e os esforços de controle social na ação coletiva. C. Wright Mills faz uma crítica da obra de Talcott Parsons, na qual se encontra o conteúdo básico da teoria organizacional naquele país. Crítica, fundamentalmente, o enfoque de considerar a sociedade integrada a partir de valores, ou de uma estrutura constituída por *papéis, normas e valores*, que embora parcialmente verdadeiro, em Parsons se transforma num *determinismo* unidirecional. Wright critica também a visão da sociedade como estável e harmonioso, o que impede qualquer análise convincente do conflito e antagonismos sociais, como a relação *capital-trabalho* e as rebeliões raciais em grande escala. Wright Mills identifica o *dirigismo* norte-americano, não apenas com o *dirigismo* soviético, como o faz Guerreiro Ramos, mas desafia uma série de argumentos, cotejando e encontrando paralelos no *dirigismo nacional-socialista* alemão. O que Mills demonstra é que a *grande organização* e a sua predominância numa sociedade moderna como a norte-americana, corrompe muitos dos que dela vivem e trabalham, através da impessoalidade burocrática, que tende a reduzir consideravelmente o sentido de responsabilidade. A burocracia determina o comportamento dos funcionários, tirando deles o poder de decisão e o interesse pelo que fazem, porém, um elo permanece forte, o apego ao dinheiro. Na realidade o dinheiro é o valor básico numa sociedade capitalista no estrito senso, e é o valor básico numa sociedade burocratizada. A burocratização transforma a sociedade em população assalariada, cujo salário ou ordenado medem o valor do indivíduo como faz o lucro, a linhagem, o capital de relações sociais. A luta pelos altos ordenados caracteriza o mundo dos administradores, cujo ordenado é o referencial

fundamental do sucesso e cujo *papel* principal é o de harmonizar os conjuntos, no sentido da maximização da eficiência do sistema global, interferindo de maneira autocrática e mantendo a ordem disciplinar. Tudo isso fortalece a ideologia burocrática, através da naturalização das relações de dominação e mascaramento do poder, da divisão social do trabalho, da estratificação social, do binômio dirigente-dirigido e do antagonismo existente entre capital e trabalho, num modo de produção antagônico.

A visão da organização como *sistema de conjuntos de papéis*, inspirado basicamente em Linton e desenvolvido posteriormente por Merton, Gross, Mason, Mc Eachern, Kahn, Wolfe, Quinn, Snoeck, Rosenthal, Katz e Getzels nos Estados Unidos e Mayntz e Luhmann na Alemanha fornece a visão epistemológica básica da interdependência entre os elementos componentes da sociedade, enquanto sistema dinâmico complexo, utilizada no presente trabalho. Obviamente, não é intenção deste trabalho localizar as profundas raízes culturais, religiosas e políticas, nas quais são fundamentadas e engendradas os “papéis” para os membros da sociedade, mas reconhecer a sua existência e, a partir desses argumentos, justificar o caráter *complexo* do sistema sócio-econômico, no sentido adotado pela *teoria da complexidade*.

As argumentações que são apresentadas, neste trabalho, tanto as já efetuadas, quanto as que se seguem, são freqüentemente baseadas em *comparações e analogias* pouco ortodoxas, bizarras até. Nesse sentido, numa tentativa de buscar apoio em autores, que procedem de forma semelhante, vale lembrar Michel Serres, a propósito das críticas recebidas, por utilizar o excessivo comparativismo, como fio condutor de sua obra [SERRES M., p.98, op.cit.]:

*“Pelo menos tem da matemática o rigor e a precisão. Platão procede de outro modo? Cada vez que há uma coisa um pouco difícil para escrever, ele abandona o vocabulário técnico, passa ao mito, relatando uma história que torna mais global a sua tese. Está o tempo todo em risco de deslizar. Quando a matemática e a lógica não podem continuar, que continue o mito! Daí, nele, como em tantos outros, hiatos, saltos, rupturas, demonstrações do relato, da metafísica às histórias populares. Leibniz, na Teodicéia, não procede, mais uma vez, de outro modo. Não há nada de tão extraordinário nisso.”*

A argumentação mais contundente, contrária ao tratamento “científico” da economia vem, justamente, da *não falseabilidade*, da impossibilidade de simulação e repetição de uma “experiência econômica”, com as condições iniciais e de contorno, rigorosamente obedecidas, como já foi dito no Capítulo 1, Introdução dessa tese. Para G. Shackle, em [BURLAMAQUI, (1993) p.35]:

*“nonrepetitive behavior means unpredictable behavior”*,

referindo-se a não-previsibilidade dos comportamentos dos agentes econômicos ou a irreversibilidade de contextos, a *não ergodicidade*, já referida, principalmente em função da voluntariedade e volubilidade do ser humano, o já discutido “*livre arbítrio*”, nascido de antigas discussões filosóficas e teológicas, principalmente para aliviar a responsabilidade divina, dos desmandos cometidos pelo homem.

Esta propriedade fundamental, que determina o comportamento individual, cerne do princípio da liberdade e plenitude de comportamento humanos, elemento básico da imprevisibilidade das ações do conjunto dos indivíduos e, conseqüentemente do sistema sócio-econômico, por si só, não é suficiente para invalidar totalmente, as analogias identificáveis entre um sistema sócio-econômico e um sistema biológico organizado, ou mesmo, um particular sistema inanimado. Isso porque, a medida que o ser humano se insere na sociedade em que vive, aumentam os vínculos e o grau de comprometimento com as circunvizinhanças, através de relações cada vez mais complexas, perdendo assim, suas características de “*partícula independente*”, não lhe permitindo a sua plenitude de comportamento, como se estivesse num meio cada vez mais “viscoso”, enfraquecendo seu “livre-arbítrio” e diminuindo seus “graus de liberdade”.

A sociedade humana, desde as mais primitivas em termos organizacionais, até as mais sofisticadas tecnologicamente, possuem um mínimo de rigidez estrutural nos “papéis” estabelecidos para o seu bom funcionamento e ocupadas pelos indivíduos componentes dessa sociedade. Nada mais comum do que testemunhar as “mudanças” comportamentais de uma determinada pessoa, após assumir alguma “função” nessa estrutura, seja a de um simples feitor

até a posição máxima existente numa nação. Nesse sentido, o Presidente Fernando Henrique Cardoso pode ser citado como exemplo sob dois aspectos: o primeiro, ao pedir publicamente para que antigas posições suas, devidamente documentadas em livros e artigos, sejam “esquecidas”. O segundo, em relação aos liames que conectam o indivíduo ao sistema social, criando a “viscosidade”. Em recentes declarações publicadas na Folha de São Paulo de (08/04/1999), a propósito das mudanças nas leis da Previdência Social, ele critica a “*obsessão de parar de trabalhar, a uma certa idade*”; declara também: “*temos de entender que, para os mais idosos, trabalhar é bom[...]*”, ou “[...] *vai criar problemas maiores para os que deixam de trabalhar, porque eles deixam de encontrar uma conexão natural com o resto da sociedade.*” Participar da sociedade significa em maior ou menor grau, a investidura em algum “papel” e o respectivo aumento da viscosidade e diminuição do exercício do “livre-arbítrio” e da plenitude de comportamento.

O indivíduo inserido na sociedade, ou seja, aquele que não está marginalizado, tem obrigações e deveres, de acordo com o “*papel*” exercido, na urdidura sócio-econômica. Faz sistematicamente, três refeições por dia, tem a ilusória liberdade de optar pela sua indumentária, mas compra e veste, inexoravelmente alguma roupa sugerida pela “ditadura da moda”. O sistema concede, complacentemente, ao cidadão a liberdade da escolha do caminho e a maneira que lhe apraz, para se deslocar ao banco e pagar, obedientemente, o seu devido imposto de renda, realizando dessa maneira, o seu pré-determinado e esperado destino econômico. Se assim não fosse, o sistema tenderia ao colapso, fato que a sociedade, como qualquer organismo vivo tentará evitar, em busca de algum estado de equilíbrio, tal qual um pêndulo de relógio, amortecido pelo atrito, mas em movimento periódico permanente, graças à energia adicionada em cada período. Segundo [GALBRAITH K.J., p.41, (1985)]:

*“(...) o indivíduo serve o sistema de planejamento não por supri-lo com a poupança e com o capital dela resultante, porém muito mais por consumir-lhe os produtos. Em nenhuma outra atividade, religiosa, política ou moral, acha-se ele assim tão minuciosa, hábil e dispendiosamente **instruído.**”*

Tome-se qualquer sistema econômico, o *liberalismo* norte-americano, por exemplo, considerado como paradigma, no qual a liberdade individual é o carro-chefe publicitário do sistema e que não é tão liberal assim, como foi discutido anteriormente, nos trabalhos de Wright Mills. “*Laissez faire*”, sim, desde que se *faça* alguma coisa produtiva. Mesmo em seu tempo livre, o indivíduo saudável, participante da *população economicamente ativa*, evitará demonstrar ociosidade em público, nos dias úteis, em razão de um dos sentimentos fundamentais do elenco de valores morais nele inculcados, desde a infância pela sociedade e pelo próprio Presidente, nas declarações citadas anteriormente, a *rejeição à ergofobia*. As figuras do *vagabundo* e do *procrastinador* são detratadas e desprezadas permanentemente, como as mais ignominiosas das criaturas, desde que o indivíduo começa a ter consciência de sua existência, seja através de fábulas de La Fontaine, como *A Cigarra e a Formiga*, seja através de ditados e máximas do tipo “*o trabalho dignifica o homem*”, a martelar e marcar como ferro em brasa seu subconsciente.

Por esse motivo, altas taxas de desemprego, além do impacto material calamitoso, tem um efeito corrosivo perverso para o sistema, uma vez que “*não fazer nada*”, deixa de ser vergonhoso e plenamente justificável ao nível do indivíduo, por motivos alheios à sua vontade. Estar desempregado significa desligar um liame fundamental, que liga o sistema ao indivíduo, destruindo o “papel”, que lhe fora outorgado, aumentando seus *graus de liberdade*, deixando o meio menos “viscoso” e, fazendo uma livre associação com a fluidodinâmica, aumentando um hipotético “número de *Reynolds*” e, assim, aumentando a probabilidade de ocorrência de turbulências.

O número de *Reynolds* da fluidodinâmica, como foi visto anteriormente, varia diretamente, com a densidade e a velocidade, e inversamente, com a viscosidade do fluido, de maneira que esse número pode se tornar grande aumentando-se a *densidade* ou a *velocidade* ou diminuindo-se a *viscosidade*. Essas três grandezas podem ser associadas, respectivamente, em sistemas sociais: *densidade*, como sendo o número de pessoas ou empresas, por unidade espacial, a *velocidade* poderia estar associada ao grau de atividade ou agitação sócio-econômica e a *viscosidade* ao conceito do “papel” do indivíduo na sociedade, já discutido. Essas idéias estão de acordo com o fato de países insulares altamente organizados, com elevada densidade populacional, em geral,

imporem regras muito mais rígidas de comportamento individual, como acontece com o Japão, notoriamente conhecido pelos fenômenos altamente organizados e coletivos, por parte de seus habitantes. Neste país vigora um dos mecanismos mais peculiares e eficientes de conexão do cidadão à sociedade, desenvolvido desde a mais tenra idade, inicialmente no seio familiar e, posteriormente, nas escolas e no trabalho. Este processo consiste na infusão lenta e permanente do *on*<sup>4</sup>, cuja tradução mais próxima, seria uma mistura complexa de sentimentos como *honra, carga, débito, ônus, obrigações*, que se aceita de um superior, seja ele o pai (*oya on*), o mestre (*shi no on*), o chefe (*nushi no on*) ou o próprio Imperador (*ko on*). O ato de receber e aceitar o *on* implica, necessariamente, na inibição e na renúncia de manifestações típicas de individualidade, chegando ao sacrifício da própria vida, em casos extremos. Este processo não encontra similaridade, em nenhum país de cultura ocidental. Indubitavelmente, o *on* representa uma força viscosa aglutinadora poderosíssima, na sociedade japonesa<sup>5</sup>.

Procurando-se nas artes cênicas e na literatura, principais repositórios da experiência humana, e que, de acordo com Bruno Latour<sup>6</sup>: “(...) *sabendo que a linguagem técnica da filosofia não permite mais fazê-lo, que a literatura o faça. (...) a filosofia, sob vigilância filosófica, sabe porque a literatura sempre foi mais longe*”, pode-se encontrar muitos exemplos do mecanismo implacável, existente entre o *indivíduo e o sistema*, no qual está inserido.

Uma das formas de atuação desse último ou *viscosidade* é muito claro nos filmes de Carlitos e outros mestres do cinema mudo, nos quais a simples aparência de ociosidade era fortemente reprimida, retratando a situação pós 1929, época em que o sistema tenta recuperar os valores morais corroídos pela crise econômica. Semelhantemente, esse sentimento de opressão do sistema sobre o indivíduo é muito bem retratado, por um mestre no assunto, Franz Kafka. Em suas obras e no seu próprio diário, a constatação do sentimento de opressão do sistema, no qual ele incluía seu próprio pai, é nítido e uma constante, como pode ser visto nos seguintes trechos de *A Colônia Penal*, pp. 107-112 [KAFKA, (1965)]:

---

<sup>4</sup> [BENEDICT R., p.101, (1972)].

<sup>5</sup> Neste processo não são invocados, em geral, ideais olímpicos como “o bem estar coletivo”, mas recursos menos abstratos como a chantagem psicológica e o temor à opinião da família e do grupo social, aos quais o indivíduo pertence. Isto explicaria, em parte, o sucesso e a abrangência deste mecanismo, em todos os estratos sociais.

<sup>6</sup> Em [SERRES M., p.99, (1999)].

*“O explorador parecia ter aceito apenas por cortesia o convite do comandante para presenciar a execução de um soldado condenado por desobediência e insulto aos seus superiores.[...] Por exemplo, as palavras inscritas sobre o corpo deste condenado serão: HONRA A TEUS SUPERIORES.”*

E de *A Metamorfose*, pp.163 [KAFKA, (1965)]:

*“...nem por isso evitaria a cólera do patrão.[...] E se dissesse que estava enfermo, que aconteceria? Mas isto, além de ser muito penoso, infundiria suspeitas...[...] Desataria em censuras aos pais, com respeito à preguiça do filho, e cortaria todas as objeções alegando o preceito do galeno, para quem todos os homens estão sempre sadios e apenas padecem do horror ao trabalho.”*

Na biografia de Kafka, *O Pesadelo da Razão*, de E. Pawel, pp.229, comparece o seguinte trecho de seu *Diários* [PAWEL, (1986)]:

*“Essa fábrica está se transformando num purgatório. Porque fui concordar quando eles me obrigaram a prometer que trabalharia lá na parte da tarde? Na verdade, ninguém torceu meu braço; o que me obriga a ir lá são as recriminações de meu pai, o silêncio de Karl e minha própria consciência pesada. Não sei absolutamente nada sobre aquele lugar. Esta manhã, quando a comissão foi inspecioná-lo, fiquei por ali, inútil como um vira-lata chicoteado...[...] Não poderia imaginar-me produzindo nada de real. Só sirvo para o tipo de trabalho de faz-de-conta...”*

É compreensível a desconfiança e o desagrado, com que o “*establishment*” teria recebido a obra de Bertrand Russell, *In praise of Idleness*, (Elogio ao ócio), (1935), em [POPPER,(1995), pp.393]. A propósito, vale registrar alguns trechos das críticas que o megaempresário brasileiro Antônio Ermírio de Moraes faz<sup>7</sup> às obras de Domenico de Masi, *O Futuro do Trabalho e Desenvolvimento sem Trabalho*:

*“(...)do livro O Futuro do Trabalho, no qual o autor nega e renega o trabalho humano, pregando a urgente implantação da sociedade do ócio. Partindo do estranho princípio de que as organizações produtivas fabricam infelizes porque obrigam os seres humanos a serem eficientes e competitivos, o autor diz que as empresas são máquinas de tortura cerebral, (...) De Masi não tem o menor constrangimento para condenar o trabalho humano: quem trabalha é ignorante e masoquista. O dever de trabalhar é uma grave neurose, enquanto que o ócio é um nobre direito.(...)Sinceramente, não entendi a tese do autor. Apesar de bem escrito e bem ilustrado com fatos históricos, o livro chega a ser*

---

<sup>7</sup> Em Folha de São Paulo, (31/10/1999).

*ofensivo. (...) O povo (...) trabalha com afinco, produz muito, gera riquezas, cuida de doentes, educa crianças, etc. Quem fará tudo isso na sociedade do ócio? (...) Mas quem paga a conta? (...) enquanto isso, você e eu teremos de continuar trabalhando.”*

No lado oposto, uma citação dos paradoxos do filósofo Paul Virilio, em [KURZ, (1999)]:

*“Arrebatados pela força monstruosa da velocidade, não vamos a lugar algum, contentamo-nos com a tarefa de viver em benefício do vazio da velocidade.”*

A esse respeito é interessante repetir alguns trechos do artigo de R. Kurz, *A expropriação do tempo*, [KURZ, op. cit.], sobre o racionamento do tempo livre dos trabalhadores, imposto pelo capitalismo:

*“ Embora não nos demos mais conta disso, o que o tempo de trabalho é tempo sem liberdade, um tempo impingido ao indivíduo (na origem até pela violência) em proveito de um fim tautológico que lhe é estranho, determinado pela ditadura das unidades temporais abstratas e uniformes da produção capitalista. [...] Do ponto de vista do espaço e do tempo capitalista, inversamente, o tempo livre dos trabalhadores é tempo vazio e de nenhuma serventia. [...] Existe no capitalismo uma forte tendência objetiva para minimizar o tempo livre ou ao menos racioná-lo austeramente. [...] Documentos britânicos do século 18 relatam que os artesãos livres trabalhavam somente três ou quatro dias por semana, segundo a vontade e a necessidade. Era costume prolongar o final de semana, segunda-feira adentro. A história da disciplina capitalista é também a história da luta encarniçada contra essa “segunda-feira livre”, que só aos poucos foi eliminada com punições dracônicas, sendo ainda encontrada em algumas regiões em pleno século 20. [...] Como o universo talvez sucumba em dez milhões de anos à completa entropia por falta de “energia livre”, a rigor seria um desperdício passear “sem propósito” ou permanecer muito tempo no banheiro! O caráter neurótico desse pensamento, que representa a neurose objetivada da racionalidade empresarial e sua lógica da “economia de tempo”, parece chegar às raias da paranóia no final do século 20. [...] Desemprego no capitalismo, porém, não é tempo livre, mas tempo de escassez. Os excluídos da aceleração vazia, não ganham ócio, antes são definidos como não-humanos em potencial. Assim, depois da utopia do trabalho, fracassou também a utopia do tempo livre.”*

E sobre o regime de trabalho nos Estados Unidos, tanto na classe trabalhadora, quanto na executiva, é oportuna a citação de J.D. Owen<sup>8</sup>:

---

<sup>8</sup> Em [GALBRAITH K.J., p.263-264 (1985)], contido no relatório ao Departamento do Trabalho (EUA) “Workweeks and Leisure: An Analysis of Trends, 1948-1975”.

*“Os norte-americanos adultos empregados não tiveram ganho líquido em seu tempo de lazer, em trinta anos - desde o fim da Segunda Guerra.(...) A medida que nos movimentamos no interior e para cima da tecnoestrutura, vemos que os homens cada vez mais exercem a opção de mais e mais trabalho e mais renda. E alguns se orgulham com o ilimitado e competitivo comprometimento com a labuta, uma labuta que, nos níveis mais altos, pode ultrapassar facilmente até mesmo as possibilidades mais imaginosas de aquisição de bens e serviços.”*

No mesmo grau de apreciação da *ociosidade* pelo sistema, está a *procrastinação*, que segundo [MELLO, (1999)]:

*“Nos Estados Unidos, berço da cultura antiprocrastinação, um estudo recente sugeriu que “a procrastinação se situa no núcleo de comportamentos, como o abuso de drogas, marcados por impulsividade e baixa capacidade de autocontrole””.*

Em relação aos princípios que fazem com que os indivíduos ajam e reajam frente às condições de contorno do meio ambiente em que vivem, a *racionalidade*, sem sombra de dúvida é o condutor principal de suas ações. Em *L’Economie, Service de La Vie*, H. Bartoli [Bartoli, pp244 (1996)], cita Max Weber, que classifica as *ações racionais* em “*zweckrational*”, dirigidas para realização de alguma finalidade utilitária e ações “*wertrational*”, movidas por valores estéticos, éticos ou religiosos. As primeiras correspondem às racionalidades instrumentais, visando adaptar os meios disponíveis às utilidades objetivas, embasadas na idéia calculista, levando em consideração, as consequências e os impactos das escolhas efetuadas a partir de um rol de alternativas. Às últimas, correspondem as ações e comportamento guiados por convicções e idéias que, enquanto individuais, têm elevado grau de *imprevisibilidade*, dada a relativa indiferença dos praticantes, às possíveis consequências de tais atos. Cervantes, em sua mais celebrada e conhecida obra, captou com magistral competência e humor essas duas principais vertentes da racionalidade e comportamento humano, através do *Cavaleiro da Triste Figura* e de *Sancho Pança*, a primeira representando os sonhos visionários, a genialidade, a criatividade, o inconformismo, a rebeldia, o espírito livre, a emoção e a loucura da espécie humana e a outra simbolizando o tijolo básico e imprescindível na constituição de qualquer sociedade, sinédoque traduzindo a esmagadora maioria da espécie humana, responsável pela estabilidade, o retorno ao equilíbrio e sobrevivência da mesma, portanto, de comportamento *grosso modo* conhecido, bem

mais *previsível*, que a primeira. Seguem alguns trechos dessa magistral obra, para ilustrar os respectivos tipos de comportamento [CERVANTES, pp. 14, 82, 546, (1978)]:

*“Non bene pro toto libertas venditur auro”, traduzindo: “Liberdade e soltura não é por ouro comprado”. [...] Eu nasci livre; e para poder viver livre escolhi as soledades dos campos; as árvores desta montanha são a minha companhia; as claras águas destes arroios, meus espelhos; com as árvores e as águas comunico meus pensamentos e formosura. Sou fogo, mas apartado; espada, mas posta longe. [...] Tenho riquezas próprias, como sabeis, e não cobiço as alheias; tenho livre condição, e não gosto de sujeitar-me; não quero nem tenho ódio a pessoa alguma; não engano a este, nem solicito a aquele; não divirto com um, nem com outro me entretenho.”*

*[...]“- Come, Sancho amigo - disse Dom Quixote -, sustenta a vida, que te importa mais do que a mim, e deixa-me morrer às mãos dos meus pensamentos, e à força das minhas desgraças; eu, Sancho, nasci para viver morrendo, tu para morrer comendo; e para que vejas que te digo a verdade, considera-me impresso em histórias, famoso nas armas, comedido nas minhas ações, respeitado por príncipes, solicitado de donzelas[...].”*

E, em relação às propriedades transformadoras na investidura de um “papel”, os conselhos de Dom Quixote a Sancho são os *liames* iniciais na constituição da *viscosidade*, a ligá-lo à sociedade e a tolher-lhe sua plenitude de comportamento, por ocasião deste último assumir o governo de uma ilha, o trecho [op. Cit., pp 479-480]:

*“[...] te recomendo que sejas asseado e que cortes as unhas. Não comas alhos nem cebolas, para que o hálito não denuncie a vilania dos teus hábitos. Toma cuidado em não comer a dois carrilhos e a não eructar diante de ninguém. Anda devagar, fala com pausa, mas não de forma que pareça que te escutas a ti mesmo, porque toda a afetação é má. O teu fato deve ser calça inteira, gibão largo, capa, e nunca bragas, que não ficam bem, nem aos cavaleiros, nem aos governadores.[...]Este último conselho que te vou dar agora, ainda que não sirva para adorno do corpo, quero que o tenhas muito na memória; não te será de menos proveito, suponho, que os que até aqui te hei dado, e é: que nunca disputes em linhagens, pelo menos comparando-as entre si, pois por força, nas que se comparam, uma há de ser a melhor, e serás aborrecido por aquele a quem abateres, e não serás premiado pelo que exaltares.”*

Com relação às manifestações do próprio Sancho, denunciando sua personalidade e forma de pensar [op. Cit., p. 85, (1978)], tem-se por exemplo a seguinte passagem:

*“- Senhor, eu sou homem pacífico, manso e sossegado, e sei disfarçar qualquer injúria, porque tenho mulher e filhos que manter e criar; e portanto fique a Vossa Mercê também de advertência, pois mando não pode ser, que de modo nenhum meterei mão à*

*espada, nem contra vilão nem contra cavaleiro; e que daqui em diante Deus perdoe quantos agravos se me têm feito e se me hão de fazer, embora mos tenha feito, faça ou haja de fazer pessoa alta ou baixa, rico ou pobre, fidalgo ou mecânico, sem excetuar nenhum estado nem condição.”*

Obviamente, a espécie humana não está dividida, dicotomicamente, entre esses dois extremos, uma vez que cada indivíduo possui, na verdade, ambas as vertentes em maior ou menor grau, seguramente com a fração *quixote* em nítida desvantagem e, cada uma das partes tendo um *comportamento médio semelhantes*, analogamente ao que ocorre na mecânica quântica estatística, na qual, *bósons e férmions*<sup>9</sup> obedecem a leis estatísticas diferentes. Essa divisão teria na realidade, aspectos *complementares*, no sentido dado por Niels Bohr, ao se referir à dualidade partícula-onda da matéria [POPPER, (1995), pp.337]. Isto se dá em dois sentidos: primeiro, na acepção usual da palavra e, em segundo, significando *exclusivos* mutuamente, ou seja, quanto mais se utiliza um deles, menos se pode utilizar o outro. Franz Kafka, apesar dos esforços do pai em torná-lo um bom negociante “sancho”, insistia em alimentar sua vertente “quixote”. Extrai-se do prefácio de [KAFKA, (1965)], o seguinte trecho de seus *Diários*:

*“A supremacia do negativo, provavelmente exaltada pela “luta”, torna iminente uma decisão entre a loucura e a segurança.”*

Essa dualidade de comportamento individual ou *relação binária*, que Richter<sup>10</sup> representa por uma função de escolha e chama de “racionalizacidez”, apesar de simplista, é uma forma de se tentar compreender a complexa interação existente no mundo real. Esse modelo de representação continua atual e foi utilizada, no passado, tanto por Adam Smith, quanto modernamente, por outros autores, enfocada sob a ótica de conceitos, tais como o “egoísmo” e “altruísmo”, como o faz [SEN, p.36, op.cit.]:

*“A mistura de comportamento egoísta e de altruísta é uma das características importantes da lealdade ao grupo, e essa mistura pode ser observada em uma grande variedade de associações de grupo, de relações de parentesco e comunidades aos sindicatos e grupos de pressão econômica.”*

---

<sup>9</sup> Classificação dos *núcleons*, de acordo com a orientação dos *spins*.

<sup>10</sup> Em [SEN, p.28, (1999)].

Se existirem processos ou fenômenos na sociedade, apresentando alguma similaridade com os *processos naturais*, principalmente aqueles relacionados ao comportamento coletivo de um sistema vivente organizado irracional, ou mesmo de um sistema hidrodinâmico viscoso, possivelmente, uma grande parcela de responsabilidade de tal comportamento seria, numa visão simplista, devida aos *sanchos*, caracterizados como equilibrados, determinísticos e previsíveis.

As teorias macroeconômicas tradicionais, assim como a maioria das teorias ditas liberais, procuram explicar o comportamento dos agentes nos processos econômicos, dentro de um arcabouço, que procura limitar a autonomia de cada um desses atores, considerando-se o seguinte paradigma: parte-se do pressuposto de que cada um conhece e perseguirá seus objetivos, procurando *maximizar* ou *otimizar* seus lucros [MALINVAUD, p.106, (1991)]. Este paradigma estabelecido por Pareto, repousa sobre três postulados fundamentais [BLAUG, p.190, (1994)]: i-) *soberania do consumidor* - só as preferências auto-escolhidas, contam como preferências individuais ou padrões de bem-estar individual. Em outras palavras um indivíduo é o melhor juiz do seu bem-estar; ii-) *não paternalismo* - o bem-estar social compreende o bem-estar de todos os membros individuais da sociedade; iii-) *unanimidade* - só realocações unânimes de recursos contam como melhorias no bem-estar social. A partir destes três postulados é possível demonstrar o que Samuelson chamou de *teorema da mão invisível*, ou seja, a equivalência entre um equilíbrio numa economia perfeitamente competitiva e as condições para um ótimo de Pareto.

O *agir econômico*, segundo Max Weber [op.cit.], representa as ações “ *segundo intenções do ou dos agentes referidos ao comportamento dos outros indivíduos e orientado em função deles próprios*” e é definido como “ *o exercício pacífico de um poder de disposição, com intenção de satisfazer a demanda de prestações determinadas de utilidade*”, por Mohr Tubingen, em 1922, [BARTOLI, (1996)].

Em outras palavras, apesar do homem “pensar” possuir a plena e completa liberdade de *agir*, o comportamento coletivo é bastante previsível, segundo um roteiro e “papéis” concebidos e ditados de várias maneiras pela sociedade. Extrapolando o universo do indivíduo, para outros atores sócio-econômicos, observa-se, por exemplo, que empresas têm a liberdade de investir em qualquer projeto, mas algum, com certeza, será escolhido. Seria basicamente aquela categoria de

investimento chamado de “autônomo”, por Hicks [ABRAHAM, p.132, (1995)], ou seja, aquele cujo montante é independente da variação da renda. Como exemplo desse tipo de comportamento empresarial, mesmo após a forte desvalorização do Real em meados de Janeiro de 1999, quando a grande massa de empresários prefere adiar seus investimentos, pode-se ler como manchete, no caderno econômico da Folha de São Paulo<sup>11</sup>: “Grupo que detém Acesita diz que manterá estratégia de longo prazo. Dívida em dólar não adia investimentos, diz Usinor.”

Ou, como afirma F. Cardim de Carvalho, em [SILVEIRA, p. 231, (1995)]:

*“A solução dada pela economia política clássica privilegiou a noção de papéis sociais para neutralizar o potencial desintegrador do reconhecimento da liberdade do indivíduo. O agente econômico é caracterizado por seu papel: trabalhadores geram um produto que excede suas próprias necessidades de sobrevivência; capitalistas acumulam e reinvestem esse excedente no próprio processo produtivo; senhores da terra, sobreviventes de um sistema social anterior, não têm qualquer papel construtivo, limitando-se a consumir parte do excedente, improdutivamente. A ordem coletiva resulta da complementaridade desses papéis. Não se perguntam aos economistas políticos clássicos se os indivíduos participantes dessas classes desejam ou não exercer seus papéis. Se alguns poucos não os exercem, a norma não será abalada. Se muitos não os exercem, não será um sistema capitalista. Não existe o tema da escolha individual. A economia política clássica resolve o dilema da ordem eliminando qualquer preocupação microeconômica.”*

Como pode ser visto na tabela (3.1), nos cinquenta anos analisados, englobando neste período, fatos e incidentes políticos, econômicos e sociais, com os mais diversos níveis de intensidade e gravidade, não houve em nenhum momento, qualquer solução de continuidade, na taxa de investimento anual, na economia brasileira, indicando que tal procedimento é praticamente obrigatório e indispensável à sobrevivência do sistema.

---

<sup>11</sup> [cad.2, p.4, (28/02/99)].

TABELA (3.3.2.1): Investimento bruto corrente como percentagem do PIB.

	INVESTIMENTO BRUTO (FBCF) NOMINAL COMO (%) DO PIB									
ANO	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
%	14,9	12,7	13,0	12,8	15,4	14,8	15,1	15,8	13,5	14,5
ANO	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
%	15,0	17,0	18,0	15,7	13,1	15,5	17,0	15,0	14,7	15,9
ANO	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
%	16,2	18,7	19,1	18,8	19,9	20,3	20,4	21,8	23,3	22,4
ANO	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
%	21,3	22,3	23,4	22,9	22,8	21,4	17,9	16,5	17,0	19,2
ANO	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
%	22,1	21,8	24,9	21,6	18,8	18,9	19,2	19,6	19,2	19,1
ANO	1997									
%	19,6									

fonte: [Conjuntura Econômica, jan/(1999)].

Conclui-se que existe, afinal, o “*homo economicus*”, como define J. Rueff [op.cit.],

“os indivíduos representando, em economia política, o papel de moléculas na teoria cinética”.

Talvez, não nos moldes idealizados e desejados pelos clássicos, reduzindo o mundo a um sistema harmônico, otimizado, rigidamente determinístico e tendendo ao equilíbrio, mas indivíduos preocupados com a própria sobrevivência e a de seus descendentes, num meio nem sempre amigável e fértil. Isso faz com que ajam, não de acordo com seus mais íntimos desejos, mas segundo roteiro concebido pela sociedade, portanto “pseudo-paretianas”, vinculados entre si e às instituições por liames multidimensionais, num complexo jogo de marionetes, produzindo como consequência o que se conhece por sistema sócio-econômico, resultando, de acordo com Burlamaqui (op.cit.):

“numa economia de produção (...), [onde] a ordem tem de ser construída, e sua matéria prima são organizações e instituições capazes de filtrar do mercado sua instabilidade endêmica e, paralelamente, sinalizar para os agentes econômicos caminhos de redução de incerteza via convergência de expectativas tecnológicas, macroeconômicas e estratégicas de modo geral. [...] são necessários mecanismos de coordenação (...) para tentar identificar problemas antes que eles surjam” [BURLAMAQUI, op.cit., pp54].

E este sistema, não sofre as pressões, somente das forças institucionais do país, representadas pelo governo, “lobbies”, sindicatos, empresas privadas, associações de classe, organizações não governamentais e outros agentes, que, através de um “jogo”, acabam estabelecendo e direcionando a política econômica indígena, mas também de interesses

*alienígenos*, que a propósito da recente crise financeira, por que passa o Brasil, escreve C. Furtado [FURTADO, (1999)]:

*“[...]Os recentes recursos postos à disposição do Brasil implicariam aprofundar o endividamento do país, particularmente se se tem em conta que as condicionalidades tornaram inevitável a recessão. A estratégia do FMI parece ser prolongar a recessão até que o paciente aceite a adoção de um sistema de “currency board”, ou seja, a plena dolarização, à semelhança do ocorrido na Argentina. Isto significa nada menos que compartilhar com o sistema financeiro internacional o governo do país. Diante dessa perspectiva temos que reconhecer que a moratória é um mal menor, pois evita a abdicação da responsabilidade de se autogovernar.”*

Na mesma linha de raciocínio escreve G. Schwartz [SCHWARTZ, (1999)]:

*“A economia brasileira é internacionalizada. Indústria, comércio, finanças, serviços – não há setor da economia brasileira em que não haja presença importante de interesses estrangeiros. Na prática, como se vê na crise atual, essa dependência é também uma interdependência, pois os capitais globais, afinal, não quiseram correr o risco de uma quebra completa da economia do país. Ainda que de modo desigual e perverso, o Brasil é parte de um sistema único e internacionalizado.”*

Este conjunto de relações de dependência, tanto internas, quanto externas, acabam definindo um conjunto de regras e leis comportamentais, tanto morais, quanto comerciais, que a sociedade como um todo é obrigada a seguir, resultando num sistema “organizado”, estabelecido por este “jogo” entre os atores, analogamente ao que acontece com outros sistemas biológicos organizados, implica aptidão em utilizar os elementos do meio afim de manter, desenvolver, reproduzir e perpetuar sua estrutura e valores. Com relação ao Brasil, G. Schwartz<sup>12</sup> é bastante crítico, no que concerne à essa capacidade do país:

*“A sociedade ainda exhibe um nível baixo de auto-organização. Os estudos mais recentes sobre civilização e modernidade alertam para a relevância de fatores não-econômicos de desenvolvimento, entre os quais se destaca o associacionismo, ou seja, a capacidade das pessoas se organizarem independentemente do Estado. [...] o desenvolvimento inclui a capacidade das pessoas alcançarem graus mais elevados de consciência coletiva e confiança mútua. Nessa área, os brasileiros ainda engatinham e o país continua uma geléia geral, mais próximo da “lei de Gerson” e do “jeitinho”, formas cafajestes de alpinismo social e darwinismo político.”*

---

<sup>12</sup> [SCHWARTZ, (1999)].

Entretanto, existem diferentes graus de qualidade e diferentes pontos de “equilíbrio”, para um ser orgânico se manter vivo por um longo tempo, desde o regime organicamente salutar, até um estado permanente de raquitismo, constantemente prostrado por processos endêmicos. Com relação à propriedade do sistema econômico à *homeostase*, ou seja, a de procurar permanentemente um *estado de não colapso*, escreve P. A. Samuelson [SAMUELSON, pp.268, (1986)]:

*“...de acordo com o finado L.J. Henderson, a própria noção de equilíbrio estável, tão característica da Física Teórica, foi realmente observada empiricamente pela primeira vez a propósito da resistência do corpo humano à doença e formulada pelos antigos como a conhecida “vix medicatrix naturae” .”*

Descrever o mundo de forma pessimista, pressionado pela crescente expansão demográfica, submetida à lei dos rendimentos decrescentes, resultando num estado estacionário ao nível da miséria foi também uma manifestação do determinismo histórico, através de outro famoso clássico inglês, Malthus. Outros autores importantes se seguiram, tais como James Mill, McCulloch, John Stuart Mill, basicamente explorando as mesmas idéias.

Segundo [HEILBRONER R., p.289-290, (1996)]:

*“A economia pode arriscar seus prognósticos apenas se duas condições forem cumpridas: primeiro, as regularidades no comportamento devem governar as ações de indivíduos na sociedade. Sem essas regularidades não pode haver leis e, portanto, nenhuma base possível para antecipar o futuro com um mínimo de segurança “científica”. Estas regularidades existem? Os grandes economistas certamente pensavam que sim.(...)Segundo, os prognósticos apóiam-se na crença de que o resultado do comportamento econômico vai constituir a influência central que guia a evolução da sociedade.”*

Os aspectos “naturais” apontados anteriormente, para a sociedade, sugerem a aplicação dos recursos da matemática, como instrumentos de tratamento destes fenômenos. A abordagem através de modelos matemáticos na economia teve, recentemente, novo alento em função das pesquisas realizadas no campo das equações diferenciais não lineares, utilizando um ferramental não disponível anteriormente, o computador. Essa abordagem *laxou* a hipótese do *determinismo rígido*, que mesmo na mecânica newtoniana, deixa de existir, mesmo em sistemas altamente não complexos, como o pêndulo simples, como foi mostrado anteriormente. Esse otimismo tem sua

razão de ser, dada a complexidade e extensão do problema, cuja representação seria através de equações diferenciais não lineares, contendo um número gigantesco de variáveis interligadas, cujas interações seriam na maioria das vezes desconhecidas em sua forma analítica e sentido causal e não constantes no tempo. Em relação a este assunto, pode-se citar, J. Damásio [DAMÁSIO, (1995)]:

*“...Entretanto, ainda que os fenômenos dinâmicos permanecessem, na maioria dos casos, imprevisíveis, buscava-se representá-los matematicamente através de sistemas de equações de diferenças finitas e/ou diferenciais - frequentemente não lineares - em busca do “hamiltoniano” que os explicassem, e se possível, os mantivessem sob controle”.*

O paralelo mais simples que se poderia estabelecer entre sistemas mecânicos e sistemas sócio-econômicos e respectivos comportamentos associados, seria representar este último por um sistema de partículas contidas em um recipiente. Neste, dependendo da densidade, pressão, volume, temperatura e intensidade da força existente entre as partículas, ter-se-ia distintos tipos de estados para esta substância, resultando em diferentes graus de viscosidade do meio. Neste contexto, um gás “nobre” num recipiente fechado, isto é, um sistema no qual as moléculas do gás, praticamente não interagem, excetuando-se os choques estatísticos, entre duas extremidades do “livre caminho médio”, seria o estado da matéria que representaria as partículas com maior grau de “liberdade”, portanto imprevisibilidade, perdendo essa propriedade à medida que o meio se tornasse mais “viscoso”.

A questão que se coloca é em relação à previsibilidade do comportamento dinâmico desse sistema: seria maior para o estado gasoso do que para o estado líquido? A resposta já discutida na seção (3.2.5) vem, parcialmente, do modelo gasoso mais simples, que é considerar as partículas constituintes independentes entre si, apenas colidindo estatisticamente entre dois instantes, após cada uma delas percorrer o chamado “livre caminho médio”, produzindo, como consequência, o movimento “browniano”, com probabilidades iguais de ocorrência em cada um dos graus de liberdade e assumindo a hipótese *ergódica* da mecânica estatística. Tal modelo linear apesar de fornecer uma razoável previsibilidade para algumas variáveis macroscópicas do gás, tais como a pressão, o volume e a temperatura pouco ou nada esclarece quanto à posição e à velocidade das

moléculas. À medida que a temperatura vai diminuindo ou a pressão vai aumentando forças que anteriormente não atuavam em virtude de um *livre caminho médio* “grande” passam a exercer uma força de coesão maior entre as moléculas, aumentando a *viscosidade* e, conseqüentemente, a previsibilidade. Entretanto a seqüência deste processo não é monotônico e suavemente contínuo, uma vez que ocorre um fenômeno, objeto de pesquisa de vanguarda, a *transição de fase*, ou seja, a mudança de estado de gás para líquido, cuja dinâmica é ainda desconhecida. Mesmo no caso do sistema líquido, no qual a maior *viscosidade*, propicia um comportamento mais regular ao fluido, as inter-relações entre as partículas são de tal ordem complexas, em determinadas situações, que as equações diferenciais descritoras da dinâmica desse sistema perdem completamente a característica linear, produzindo fenômenos cuja previsibilidade fica comprometida em virtude da propriedade SCI - sensibilidade às condições iniciais, levando aos chamados fenômenos *complexos*. Foi o trabalho de E.N. Lorenz [LORENZ, (1963)], na meteorologia teórica, que chamou a atenção para o fato de que, *mesmo sistemas descritos deterministicamente pela mecânica newtoniana, geravam comportamento dinâmico imprevisível em sua essência*. O chamado SCI impedia que a previsão feita com os modelos matemáticos, não tivessem validade maior que uma semana. É de sua autoria a frase, em [GLEICK, (1989)]:

*“ Predictability: Does the Flap of a Butterfly’s Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?”.*

Sistemas determinísticos complexos, apesar de gerarem comportamentos aperiódicos sem aleatoriedade e imprevisíveis, ainda assim exibem uma surpreendente ordem em seus comportamentos caóticos [BERGÉ, (1996)]. Por entre a desordem aparentemente ilógica, surgem estruturas e padrões não aleatórios, ordenados, embora não determinísticos, semelhantes, mas não identicamente repetitivos, como no já mencionado jogo de futebol. J.Damáσιο [DAMÁSIO, op. cit.], assim se expressa:

*“ Cachoeiras, indiferentes à turbulência de suas águas, sempre são parecidas; mangueiras, todas tão desiguais, continuam reconhecíveis; ondas do mar, nunca idênticas, raramente se destacam por suas singularidades; economias inteiras, em crise ou não, apresentam semelhanças em sua diversidade, quaisquer que sejam as expectativas - racionais ou não - de seus “agentes econômicos”.*

Como consequência, essa regularidade e “bom comportamento” coletivo levado ao extremo, poderia conduzir o sistema econômico a um estado de equilíbrio, que Joan Robinson critica e rejeita categoricamente, em [DAMÁSIO, op. cit.]:

*“Dada uma situação de equilíbrio, a produção e o consumo de hoje determinam quais estoques de bens de todos os tipos existirão amanhã; e os estoques de hoje determinam quais foram a produção e o consumo de ontem. A posição presente[...] decreta qual será a situação em qualquer data do passado. O modelo é uma criatura que se move em ravinas determinadas - nem mesmo um ônibus, mas um bonde. [...] Um sistema em equilíbrio, por sua própria natureza, está distanciado da realidade. É imprestável para analisar a história em seus termos, e é ilegítimo apelar para a história por evidências que o suportem. Tudo o que ele pode fazer é apresentar as relações lógicas geradas pelos seus pressupostos. Uma vez reunido um conjunto de pressupostos, é bastante fácil fazer o modelo correr ao longo de seus trilhos de bonde”.*

Apesar da causticidade da crítica acima, o estudo da fluidodinâmica mostra que sistemas físicos em equilíbrio estão exibindo apenas uma parte ínfima e menos rica de suas propriedades e estados possíveis de existência. A respeito da citação acima, escreve J. Damásio [op.cit]:

*“De fato, se nos afastarmos dos “trilhos de bonde”, a extrema dependência dos comportamentos dos modelos dinâmicos determinísticos sobre as suas condições iniciais, faz com que seus resultados sejam, em geral, imprevisíveis! E isto deve nos trazer reminiscências do “efeito borboleta” formulado pelos pioneiros do estudo do caos determinístico. Por outro lado, ainda que estejamos sobre uma trajetória estacionária de equilíbrio - com as propriedades de estabilidade - se existirem múltiplas trajetórias com características semelhantes, a possibilidade de comportamento caótico não está afastada. Caso se tente trafegar de uma trajetória de equilíbrio para outra, o caos pode surgir nesse caminho.”*

A ciência da *complexidade* está ainda em seu albor, através de uma metodologia que procura abordar de forma unificada a dinâmica de vários fenômenos pertencentes a diferentes campos do conhecimento. Assim, um eletrocardiograma pode embutir similaridades de comportamento dinâmico com o movimento da bolsa de valores, podendo eventualmete serem descritos formalmente pelas mesmas equações diferenciais. É uma forma *não reducionista* de se abordar um problema complexo, que tratado de maneira convencional escamotearia, certamente, aspectos e propriedades, que somente o conjunto como um todo poderia revelar; a abordagem

*reducionista científica* seria mais ou menos como procurar saber as horas, acompanhando cada engrenagem de um relógio.

No que concerne à analogia dos fenômenos da fluidodinâmica, particularmente a definição do *número de Reynolds*, com os processos “turbulentos” da sócio-economia, deve-se ressaltar novamente, que essa analogia é apenas qualitativa. Para a discussão a seguir, convém repetir a definição desse número R: ele varia em proporção direta com a *densidade*, a *velocidade* e a *dimensão geométrica* do sistema e inversamente com a *viscosidade*. A pergunta que se coloca, lembrando as advertências de E. Morin feitas na Introdução, é: *até onde uma disciplina como a física estaria ligada aos limites do questionamento científico, em áreas sociais, nas quais é difícil argumentar quantitativamente, dentro dos padrões determinados pelo método científico?* Até que ponto é possível obter leis universais de comportamento, aplicáveis em várias culturas e épocas, capazes de justificar as atitudes de um grande número de pessoas em grupos sociais? Pelo que foi apresentado até o momento, métodos da física e da matemática seriam aceitáveis como uma primeira aproximação explicativa, dentro de limites reitados a alguns processos similares aos “naturais”, da fluidodinâmica e dos sistemas biológicos organizados irracionais.

Em se tratando de fenômenos sócio-econômicos, existe uma gama enorme de formas de distúrbios, tanto em intensidade, quanto nas consequências decorrentes. Há que se diferenciar, certamente os efeitos resultantes de “números” R, de *Reynolds*, elevados, se possível fosse defini-los para tais fenômenos e quantificá-los. Uma turbulência num estádio de futebol, certamente nada possui de comum com uma insurreição ou um levante popular, pois, por detrás desses fenômenos, se escondem outras variáveis, não consideradas nesse número, como por exemplo, as possíveis motivações ou permanência das causas que provocaram essa elevação do “número” R. Essa discussão qualitativa serve apenas para ajudar no entendimento dos processos sócio-econômicos, que pode inclusive ser estendida para sistemas mais abstratos, tais como os sistemas financeiros mundiais. A globalização permitiu um aumento acentuado de participantes, conseqüentemente elevando a “densidade” de transações nesses sistemas interligados. Por outro lado, a tecnologia permitiu também que se aumentasse consideravelmente a “velocidade” dessas transações, sem que houvesse como contrapartida, uma elevação na “viscosidade” nesse meio,

representada por um conjunto maior de restrições e regulamentações, para os “ fluxos” financeiros. Como consequência, episódios turbulentos semelhantes têm ocorrido, cada vez com maior frequência, desencadeados por fatos desproporcionais, exibindo uma forte não-linearidade e instabilidade, nesses sistemas.

Este modelo de *viscosidade social* é um modelo basicamente qualitativo, cuja *falseabilidade* e validação, representariam uma dificuldade epistemológica, equivalente a outras teorias lançadas, para explicar fenômenos do sistema sócio-econômico, não tem senão o pobre recurso de analogias comparativistas e “livres associações”, para o seu estabelecimento. Por exemplo, um sistema social de *viscosidade nula* poderia ser representado, numa abordagem inicial, por um grupo de indivíduos misântropos, avessos à vida em sociedade, cuja imagem estereotipada é a do ermitão Urtigão, vivendo isolado no alto de uma montanha. A aparente contradição neste modelo é que o número de Reynolds, nesse caso tenderia a infinito, resultado da viscosidade nula, pois os elementos desse sistema não teriam nenhum tipo de compromisso com o meio ou a “sociedade”. Seria pouco convincente afirmar, que tal sistema, formado por misântropos estaria altamente propenso à turbulência, dado o elevado valor de R. Na realidade esse número não se eleva, pelo motivo já mencionado, que tais tipos de pessoas vivem isoladas, ou seja, a *densidade* e a *velocidade*, que estão no numerador de R, não permitem que R cresça com a baixa *viscosidade*, de forma que, no limite, R não terá um valor muito grande. Uma imagem diferente pode ser imaginada, se forem colocados um bando de Urtigões, lotando um estádio de futebol. A menos que surja alguma forma de *auto-organização*, que implicaria no surgimento de um mínimo de *viscosidade* entre os elementos, a probabilidade de que haja turbulência é muito grande. A formação das conhecidas “ondas”, num estádio é uma indicação de que essa *viscosidade* está presente, e que, cada indivíduo sabe qual é o seu “papel” a ser cumprido, no momento certo.

Outro exemplo de como o sistema social se comporta, em determinadas circunstâncias, como um fenômeno da fluidodinâmica, considere-se a cidade de São Paulo, na atual configuração urbana. Nesse conglomerado, como em qualquer sistema social de alta densidade e grande dimensão, a eletricidade representa algo, muito além de mero insumo, indispensável ao

funcionamento desse sistema. Ela pode ser considerada um vetor e um símbolo físico, através do qual se materializam os “papéis”, que compõe a “viscosidade”, que ligam e limitam o indivíduo ao meio social. Operações envolvendo os mais diversos processos da atividade humana, tais como: pagamentos, compras, saldos da conta bancária, cartões de crédito, imposto de renda, transações comerciais, bombeamento de água de bairros inteiros, elevadores, iluminação, aparelhos elétricos, transportes de pessoas e mercadorias, centrais telefônicas e de comunicação em geral, produção econômica, empregos; é simplesmente inimaginável a existência de sistemas sociais de grandes dimensões e de alta densidade populacional, sem a energia elétrica. Para citar um prosaico exemplo da dinâmica em que ela se envolve, é por meio desse liame, que regras de conduta no trânsito são ditadas e transmitidas aos motoristas e transeuntes, através dos semáforos. Seria razoável supor que, numa eventual falta de eletricidade, os motoristas, que se admite serem humanos dotados de racionalidade, seriam capazes de se auto-organizar, ao invés de se comportarem como moléculas irracionais de água, com elevado  $R$ , evitando congestionamentos e distúrbios nos cruzamentos, como acontece, por exemplo em cidades pequenas e pouco densas, as quais prescindem até, da utilização daqueles equipamentos. A diferença dinâmica, entre essas duas situações pode ser entendida, portanto, sob a ótica do citado *número  $R$  de Reynolds*: num sistema de grandes dimensões, no qual a densidade também é, de tal forma elevada, a diminuição da “viscosidade”, através da retirada desse importante liame, pode levar esse subsistema à situações potencialmente perigosas e turbulentas, como de fato ocorreu no trânsito da cidade de São Paulo, por ocasião dos apagões de 1985 e 1999. Diversos tipos ocorrências são imagináveis para outros subsistemas, sendo, inclusive objeto de uma película, o filme *The Trigger Effect*, no qual são narrados vários fenômenos de natureza sociais, que ocorrem por ocasião de um hipotético apagão em Los Angeles, notadamente os turbulentos, de conseqüências da maior gravidade. Segundo o professor Roberto Hukai, do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, um desabastecimento prolongado de eletricidade teria conseqüências equivalentes a um terremoto de grandes proporções [ESP, B4, (20/09/1999)]. Essa seção é encerrada com uma citação de [SERRES M., p.224, (1999)], a qual traduz a essência da mesma, ou seja, a essência de um sistema não linear:

*“Somos agora os senhores da Terra e do mundo, não há dúvida, mas nosso domínio parece escapar a nosso domínio. Nós nos apossamos de tudo, mas não temos controle sobre nossos atos. É como se nossos poderes escapassem a nossos poderes, cujos projetos parciais, bons, às vezes, e com frequência conscientes, pudessem somar-se de maneira involuntária, ou, à nossa revelia, de maneira maléfica. Não dominamos ainda, que eu saiba, o caminho, inesperado, que vai da calçada local, da intenção boa, para um possível inferno global.”*

### 3.3.3. O CONCEITO DE EQUILÍBRIO UTILIZADO.

*“...there is a God precisely because Nature itself, even in chaos, cannot proceed except in orderly and regular manner.”*  
*Immanuel Kant*

A noção de *equilíbrio* foi transportado da física, assim como muitos outros conceitos utilizados na economia. Segundo Marcelo Gleiser<sup>13</sup>, a existência de *oscilações* deve-se ao amor que a natureza tem pelo *equilíbrio estável*, quando um sistema em equilíbrio é levemente perturbado, ele tenderá naturalmente a voltar à condição de equilíbrio. A superfície de um lago permanece intacta, a menos que algum estímulo externo perturbe esse equilíbrio. Rapidamente, ondas concêntricas se propagam a partir do ponto de contacto, e a energia extra depositada ali é então dissipada: o sistema volta ao equilíbrio. Portanto, em outras palavras, as ondas são uma propagação organizada de um desequilíbrio. Em geral, ondas são resultados de perturbações lineares. Entretanto, nem todo estímulo gera uma resposta linear. Vários sistemas são dominados por efeitos não-lineares, em que um pequeno estímulo pode gerar uma resposta muito intensa e vice-versa, sem uma relação simples entre os dois. Um exemplo simples de não-linearidade é quando a onda do mar, ao se aproximar da praia, “quebra” num processo turbulento, dominado por efeitos não-lineares. Entretanto, nem toda não-linearidade leva à “destruição da ordem”. Em certos sistemas, é justamente a não-linearidade que provoca a manutenção da oscilação, compensando exatamente sua tendência natural de se dispersar, atuando como uma espécie de cola.

Diferentemente do que acontece na física, na qual se pode definir exatamente o conceito de equilíbrio, seja do ponto de vista estático, seja do dinâmico, essa palavra adquire múltiplos

---

<sup>13</sup> Em *Um mundo imerso em ondas*, FSP, caderno Mais!, (14/11/1999).

sentidos na economia, dependendo do autor e do contexto considerado, de forma que necessário se torna aqui, algum esclarecimento sobre o equilíbrio, que vai ser utilizado neste trabalho. Segundo o economista da Universidade de Princeton, Hugo Sonnenschein (1982), na introdução do livro de Walras [WALRAS, op. Cit.]:

*“A Economia é o estudo do equilíbrio social que resulta do comportamento aquisitivo de vários agentes com objetivos em conflito. Adam Smith nos ensinou a considerar cuidadosamente a possibilidade de que o comportamento egoísta poderia, de alguma forma, promover o bem social. Marx reconheceu as conquistas iniciais do capitalismo mas acreditou que a propriedade do capital e seu direcionamento por um número relativamente pequeno de capitalistas em busca do lucro levaria à depressão de severidade crescente e eventualmente ao colapso do próprio capitalismo. Walras propôs uma detalhada teoria matemática do que significa para um agente atuar em benefício próprio, e usou essa teoria para explicar o valor relativo dos bens e serviços. Pareto nos ajudou a compreender o significado de uma utilização socialmente eficiente de recursos e a moderna teoria de Bem-Estar, em particular tal como incorporada no trabalho de Kenneth Arrow, fornece um tratamento rigoroso da relação entre os resultados do interesse individual e a eficiência social definida por Pareto.”*

Sob a ótica microscópica e *reducionista*, o indivíduo e o respectivo comportamento são os elementos primários das quais deriva e se constrói uma teoria do comportamento coletivo. Toda tentativa de se formular um modelo de um sistema complexo, se inicia geralmente, com a identificação da forma com que se dá a interação entre os elementos do sistema e posteriormente o estudo de pontos de *equilíbrio*, sob tal interação. Excetuando-se o problema de Poincaré, citado anteriormente, na teoria cinética dos gases, na qual ele se sentia feliz por *desconhecer* as interações existentes entre as moléculas do gás, portanto iria abordar o problema por outros meios, o objetivo primeiro do pesquisador é esse conhecimento. Assim ocorreu com a teoria econômica científica de Walras, a qual está fundamentada sobre o comportamento hedonista do indivíduo em sociedade, segundo o princípio da *utilidade marginal decrescente*, ou seja, quantidades sucessivas de um bem geram acréscimos de satisfação progressivamente menores ao consumidor. Toda sua teoria do *equilíbrio geral* repousa sobre esse princípio, partindo da análise de equilíbrio estático no *problema da troca de duas mercadorias entre si*, resolvido minuciosamente, até a tentativa de se generalizar para um grande número delas. Segundo suas palavras [WALRAS, p.53, op. Cit.]:

*“Pode-se muito bem enunciar logo de saída que quando um homem troca um objeto por outro é porque o objeto que compra lhe é mais útil que o objeto que vende e que o motivo determinante da troca decorre da consideração de nossas necessidades. [...] pode-se dizer que ele cede a mercadoria da qual tem relativamente muito, para adquirir a mercadoria da qual não tem relativamente bastante; e, dessa forma, já se entrevê mais claramente que na troca buscamos a maior satisfação possível de nossas necessidades.”*

Existe uma semelhança de obstáculos, entre o problema de equilíbrio estático de Walras e o problema dinâmico de corpos interagindo entre si, na mecânica *newtoniana*. Enquanto que o problema de duas mercadorias pôde ser resolvido exatamente, a presença da terceira mercadoria a ser trocada com as outras duas, complica consideravelmente o problema, pelo fato da sua existência modificar mutuamente a interação, via preços, portanto quantidades, das mercadorias duas a duas. Na dinâmica *newtoniana*, a presença de um terceiro corpo, no problema de dois corpos interagentes, torna impossível sua solução analítica, como bem apontou Poincaré.

De acordo com [SIMONSEN, v.1, p. 215, (1974)], o *equilíbrio automático a pleno emprego* poderia ser assegurado, desde que haja:

1. A flexibilidade dos salários nominais.
2. Absoluta inelasticidade da demanda por moeda, em relação à variação da taxa de juros.
3. A existência de uma taxa natural de juros positiva, capaz de equilibrar “ex-ante”, a poupança e o investimento.

Essas três leis, segundo o autor, resumem uma versão da lei de Say, popularizada pela conhecida máxima, *a oferta cria a sua própria demanda*.

Segundo [ANDRADE, p.86, (1987)], para muitos pesquisadores em economia, independentemente da procedência teórica, a idéia de algum tipo de *equilíbrio*, sempre acompanhou o estudo dos fenômenos da realidade econômica do capitalismo. Isso é válido, principalmente, para os teóricos do tronco analítico neoclássico, tanto no que diz respeito à ramificação *walrasiana*, de *equilíbrio geral*, quanto à sua irmã *marshalliana* de *equilíbrio parcial*. No que concerne ao neoclassicismo, este conceito se refere à tendência inexorável, inerente ao próprio funcionamento do sistema econômico capitalista, de atingir o *pleno emprego* de todos os recursos econômicos disponíveis na sociedade, conduzido pelas forças que operam no

mercado. Segundo seus seguidores, o capitalismo é um sistema que opera de forma harmônica, por meio de sucessivos ajustes automáticos, comandados pela interação oferta-demanda, que acabam garantindo a total absorção dos recursos escassos existentes, levando em algum momento ao chamado *equilíbrio de pleno-emprego*, ou seja, à situação de total utilização da capacidade de trabalho e capital. Isso, somente seria atingido, se houvesse perfeita flexibilidade de taxa de salário e inexistência de regulação estatal na economia, que interferisse no mecanismo preciso de mercado. Havendo perfeita substituição entre os fatores de produção, garantido pelo *princípio da substituição* entre capital e trabalho, pelo qual o nível de salário de equilíbrio e de pleno emprego seriam determinados, permitindo o funcionamento do sistema, em seu ponto ótimo. Entretanto, como afirma Kregel, em [ANDRADE, p. 86, op. Cit.]:

*“A prova neoclássica do equilíbrio repousa na hipótese do conhecimento perfeito, isto é, o sistema de preços sinaliza os vendedores e os compradores na direção do equilíbrio. Isto...é sempre assumido, nunca provado.”*

O equilíbrio no sentido *walrasiano* é obtido através de uma hipótese simplificadora: a de que as transações só ocorram efetivamente aos preços de equilíbrio, ou seja, aqueles nos quais as quantidades totais ofertadas no mercado sejam iguais às quantidades demandadas em todos os mercados. Através de um artifício analítico, Walras introduziu a idéia de “contratos provisórios”, que só seriam cumpridos caso atendessem ao requisito de compatibilidade global. Havendo sobra ou carência de algum bem ou serviço, aos preços vigentes, os contratos seriam considerados não válidos, e os preços se modificariam segundo a “lei da oferta e da procura” e novos contratos seriam propostos até que se estabelecessem os requisitos de compatibilidade global. A esse mecanismo de contratos virtuais sucessivos na determinação dos preços de equilíbrio, Walras deu o nome de *tâtonnement*. Ao popularizarem essa noção de aproximações sucessivas, seus seguidores criaram a figura de um “leiloeiro walrasiano”, cujo papel seria o de promover o reajuste dos preços com base nos contratos virtuais, só permitindo que as transações efetivamente se realizassem aos preços de equilíbrio. Vale notar que, segundo Jaffé, na apresentação do *Compêndio dos Elementos de Economia Política Pura* [WALRAS, op. Cit.], a figura do “leiloeiro”, jamais foi utilizada por Walras.

Coube a Keynes laxar a noção de equilíbrio, dando-lhe um significado substancialmente diferente do conceito propugnado pelos “clássicos”, segundo sua própria definição. É um tipo de *equilíbrio* suscetível de se realizar, meramente eventual e incerto, pois está vinculado às expectativas que os empresários visualizam, que podem se verificar ou não, ao decidirem produzir e empregar determinada quantidade de força de trabalho, em relação ao comportamento esperado da demanda. É um equilíbrio contingente, casual, na medida em que nada garante que as expectativas construídas pelos empresários serão satisfeitas, condição esta que levaria ao *equilíbrio keynesiano*. É fundamentalmente diferente do conceito de *equilíbrio walrasiano*, no qual esse estado é obtido *ex-post*, como visto acima. Para Keynes o equilíbrio está relacionado à *possibilidade ou não* de que o mesmo venha a ocorrer, ou seja o caráter probabilístico desse equilíbrio reflete a essência daquilo que governa o rumo das coisas, composta de uma grande dose de acidentalidade e aleatoriedade. Ao decidirem produzir e oferecer emprego, decisões estas ligadas às expectativas de curto prazo, os empresários, em conjunto, constroem sua curva de oferta agregada associada a determinado nível de emprego que seja compatível com a maximização do lucro esperado em face da projeção que os mesmos fazem do comportamento da função de demanda agregada. A interseção dessas duas curvas dará o volume de emprego efetivo oferecido pelos empresários, num montante tal que as expectativas de lucro por parte destes serão maximizadas. O ponto de equilíbrio assim obtido a partir dessa interação fornece a demanda efetiva, a qual *pode* ou *não* ser o equilíbrio neoclássico de pleno-emprego. Nesse aspecto, a experiência tem mostrado que o equilíbrio abaixo do pleno-emprego tem sido a realidade concreta das economias capitalistas. Assim, a formulação *keynesiana* do princípio da demanda efetiva, ou seja, de que o gasto determina a renda é feita no contexto das decisões capitalistas de produzir, no curto prazo, levando ao estado de equilíbrio definido *ex-ante*, nada tendencial e nem resultado de um “processo de ajuste automático”. Isso significará que o ponto de equilíbrio, no qual as variáveis macroeconômicas não sentirão os fenômenos oscilatórios, é um ponto particular, difícil de ser atingido e mantido. Em outras palavras, o estado de equilíbrio será a *exceção e não a regra*, a qual será a permanente busca do estado de equilíbrio.

Este comportamento representa a essência do modelo matemático proposto na seção (3.3.6) deste trabalho, no qual esse estado será aquele, para o qual o sistema, em geral, *caminha*

*oscilando sem entrar em colapso*, dado que um colapso é um fato indesejado pela sociedade, que procurará evitá-lo a todo custo, mas que pode tomar rumos imprevisíveis. Nas palavras introdutórias do livro de J. Benhabib [BENHABIB, (1992)]:

*“Um tema recorrente na literatura econômica é a natureza auto-corretiva do sistema econômico. Carências criam incentivos para o aumento da oferta; necessidades levam a invenções, assim como a mão invisível guia a alocação de recursos.”*

Considerando as duas representações supracitadas, o estado de equilíbrio a ser utilizado estaria entre as duas, mais próxima ao esquema de equilíbrio de Keynes, ocorrendo portanto, de forma não totalmente *determinística*, “de pleno-emprego dos fatores”, tendente ao equilíbrio estático, na ausência de choques, como preconizavam os “clássicos”, mas com uma forte componente *aleatória, fortuita*, permitindo o *livre-arbítrio* empresarial, considerando, entretanto, que o investimento, de uma forma ou outra será *obrigatoriamente* realizado, provavelmente de maneira errática, como mostram os dados históricos. Isso dará origem, como será demonstrado, aos ciclos não periódicos econômicos. Essas flutuações aperiódicas, como será visto adiante, é consequência, justamente, da *não uniformidade* e do “incorreto” valor do investimento aplicado.

#### 3.3.4. SOBRE A VARIÁVEL INVESTIMENTO.

*“O melhor seria que conhecêssemos o futuro.”*  
Keynes (1936), em *The General Theory...*

*“A história econômica da espécie humana prova, sem sombra de dúvida, que a natureza tem um importante papel no processo econômico, bem como na formação do valor econômico. É tempo de aceitarmos esse fato e considerarmos suas conseqüências, pois algumas delas têm uma importância excepcional para o entendimento da natureza e evolução da economia.”*

[GEORGESCU-ROEGEN, (1975)]

A pedra angular do modelo dinâmico a ser apresentado neste trabalho é o *investimento* ou a *formação bruta de capital fixo*, que adiciona, anualmente, mais capacidade produtiva, através do aumento do estoque de capital já existente. Os tipos de investimento considerados por Hicks em seu modelo endógeno podem ser discriminados da seguinte forma [ABRAHAM, p 133, op. Cit]:

- a) Investimento *induzido* pelo dispêndio de consumo, e portanto, pela variação da renda (Y). Esse investimento somente ocorreria no caso de plena utilização da capacidade produtiva. Pode ser escrito no instante (t), como:

$$I(Y,t) = \alpha [Y(t-1) - Y(t-2)]$$

- b) Investimento *autônomo*, ou seja, o investimento cujo montante não depende da variação da renda. Essa categoria de investimento compreende três tipos distintos, a saber: o investimento público, o investimento decorrente de inovações e aquele devido a planos de longo prazo.
- c) Investimento de reposição de estoque de capital, afim de manter o mesmo nível de capacidade de produção, diminuído devido à utilização dos equipamentos.

A análise *keynesiana* do mecanismo dinâmico, envolvendo as principais variáveis macroeconômicas a ser apresentado, segue em linha gerais o estudo de Rogério P. de Andrade [ANDRADE, pp.88-90, (1987)]. Segundo esse trabalho, o resultado básico a ser extraído da obra de Keynes é a de que o sistema capitalista é intrinsecamente instável, em virtude da instabilidade do *investimento*. As principais dificuldades envolvendo os mecanismos dinâmicos desta variável, já foram abordados na seção (2.2.2), sendo que a discussão apresentada a seguir tem a função, basicamente, como reforço ao que foi lá discutido.

A decisão de investir produtivamente, decorre de prospecções de rentabilidade de uma gama imensa de alternativas de aplicações em ativos, presentes na economia, num dado instante. A demanda por bens de investimento é determinada, segundo Keynes, por dois fatores: a eficiência marginal do capital - EMgK - e a taxa de juros (*i*). A EMgK depende das avaliações prospectivas dos capitalistas quanto ao fluxo de rendimentos futuros do ativo de capital em questão, descontado o custo de produção ou de reposição do ativo. Na outra extremidade, a taxa de juros (*i*) depende da preferência pela liquidez ou propensão a entesourar o ativo mais líquido à disposição do capitalista, os meios de pagamento. De acordo com Keynes, enquanto EMgK for maior ou igual a (*i*), os capitalistas estarão estimulados a investimentos adicionais na produção. Entretanto, um fator decisivo na escolha entre esses dois ativos, segundo Keynes é a expectativa e o nível de incerteza e ignorância, quanto ao futuro, que os empresários sentem, no momento da decisão. A migração para o ativo de maior liquidez, dado um quadro pessimista e incerto, leva a

um aumento do entesouramento, elevando assim a taxa de juros, tornando menos atraente ainda, o investimento produtivo, com efeitos perversos sobre a demanda efetiva e, conseqüentemente, sobre a renda e o emprego, processo batizado por Keynes, como a *armadilha da liquidez*. Esta análise pode ser estendida, também, para outros *investimentos*, para acréscimo de outras formas de *capital*, tais como o *tecnológico e o humano*, constituindo-se nas atuais pesquisas sobre o desenvolvimento econômico em equilíbrio auto-sustentado (vide Apêndice B).

O capitalismo é essencialmente uma economia monetária, no qual o dinheiro não funciona apenas como um *numeraire*, no sentido *walrasiano* ou facilitador de trocas, mas como *reserva de valor*, servindo como elo de ligação entre o futuro esperado e o presente. Como já foi dito anteriormente, a principal característica discriminadora entre sistemas físicos inanimados, ou mesmo animados, porém irracionais, e sistemas humanos, é justamente essa possibilidade de um futuro hipotético influenciar as decisões presentes, e isso se dá graças ao dinheiro, que proporciona um refúgio mais seguro, das perspectivas sombrias do futuro. Segundo G. L. S. Schackle, em *The Years of High Theory* (1967), [ANDRADE, p.90, op. Cit.]:

*“É a incerteza que dá à moeda todo o caráter e competência de distingui-la de mero numerário. A moeda é o refúgio dos compromissos especializados, é a protetadora das necessidades de tomar decisões de grande alcance. A moeda é liquidez. Não é um conceito mecânico, nem hidráulico, mas psicológico.”*

O exposto acima representa o que Keynes afirma ser a fonte básica da instabilidade capitalista: o fato de que as decisões de investir assentam-se em expectativas que necessariamente têm de se reportar a um futuro cercado de incertezas. E como o investimento é a variável estratégica do gasto agregado, ou da demanda efetiva que determina a renda e o nível de emprego, as flutuações nessa variável, caracterizará a instabilidade sistêmica e latente do *capitalismo*. Entretanto, repetindo o que foi mencionado na seção anterior, o *capitalismo* tem a característica “natural” de se auto-preservar, repondo e renovando, religiosamente, através do *investimento, o estoque de capital*, cujo processo é realizado de forma muito semelhante ao crescimento populacional. Da mesma forma, que *são evitados*, geralmente, em demografia, teorias relativas aos mecanismos, que levam a população ao ato da reprodução, aceitando-se a hipótese simples e eficaz, de que a taxa de nascimento humano, ou, a variação no tempo da população é diretamente proporcional à própria população, *de maneira análoga será assumido o*

*mecanismo ou o ato de investir, neste trabalho. Assim, os determinantes do investimento estarão vinculados a um processo de crescimento “natural”, desenvolvido na seção (3.3.6), para evitar os aspectos polêmicos e não resolvidos desta teoria. Criticável sob certos aspectos, é inegável e reconhecível o antigo aroma “naturalista-fisiocrata”, impregnado nestas idéias, traduzido, por exemplo, pela citação de Le Mercier de la Rivière<sup>14</sup>:*

*“Nous découvrons un ordre essentiel, un ordre dont elles ne peuvent s’écarter sans trahir leurs véritables intérêts, sans cesser d’être des sociétés.”*

### 3.3.5. MODELOS VERSUS REALIDADE ECONÔMICA.

Como contraponto à posição epistemológica radical, que admite como verdadeiras, apenas teorias e modelos fartamente comprovados e comprováveis, pela experimentação, vale citar A. Oliva, [OLIVA, (1995)]:

*“ Nos antípodas da tradição epistemológica, que só reconhece como genuínas as teorias com uma inequívoca gênese observacional, que ostentam a identidade de meros dispositivos registradores dos enredos fatuais, Popper é um dos primeiros epistemólogos a defender a tese de que nossos sistemas científicos são livremente criados, resultando do profícuo emprego de nossas imaginativas intuições com a finalidade de tentarmos enquadrar em tipologias explicativas universais os fenômenos que estudamos”.*

E da mesma referência e também em *Metafísica e Criticabilidad* (1958), em [POPPER, (1995), pp.225], citando a teoria metafísica, baseada no conceito já exposto anteriormente, de *falseabilidade*, na validação e *alcance* de uma teoria:

*“Malgrado tenha introduzido o conceito de corroboração para lidar com as situações de testagem em que me empenho sincera e ardorosamente para refutar uma teoria sem obter êxito, Popper nos legou uma metaciência que introduz a incerteza de não se poder atribuir função capital à evidência favorável quando se trata de aquilatar a universalidade categórica. Tudo que comprovo empiricamente a favor de uma teoria ou hipótese universal, jamais será suficiente para estabelecer sua verdade. Posso, quando muito, atestar seu maior conteúdo de verdade e seu menor conteúdo de falsidade em comparação com outra(s) teoria(s). Consequência disso é que se a natureza só se manifesta favoravelmente a uma teoria não posso, como supunha a tradição, endossá-la como*

---

<sup>14</sup> Em [PASSET R., p.32, (1996)].

*verdadeira. Não há evidência empírica capaz de tornar verdadeira uma hipótese universal, só falsa. A evidência positiva só permite a aceitação provisória, já que o possível contra-exemplo é a única situação realmente avaliatória da teoria”.*

As aplicações de técnicas envolvendo equações diferenciais, em teorias sociológicas e econômicas esbarram numa dificuldade adicional, que é a não repetibilidade de condições iniciais, necessárias para validar, ou mesmo, segundo Popper, falseabilizar uma teoria. O resultado máximo, que se poderá obter será uma *avaliação qualitativa* do comportamento do conjunto das hipóteses formuladas e respectivos resultados teóricos, em condições *únicas, irreversíveis, jamais passíveis de comprovação experimental*. Entretanto, este mesmo contexto se verifica em ciências ditas tradicionais, no campo dos fenômenos não lineares, como, por exemplo, na fluidodinâmica aplicada à meteorologia, na qual a SCI, não permite a previsibilidade dos fenômenos resultantes, uma vez que uma diferença ridiculamente pequena nessas condições iniciais, portanto, na prática, total *irrepetibilidade destas condições*, exatamente como acontece na *economia*, levarão a resultados totalmente diversos. Nem por isso se deixa de empregar tais técnicas nessas ciências.

Portanto, apesar das críticas contrárias à aplicação do instrumental matemático em determinadas áreas da economia, esta será o principal objetivo deste trabalho. Inicialmente, serão utilizadas equações diferenciais não lineares e, depois, uma abordagem empírica “*ad hoc*”, relacionando duas das principais variáveis macroeconômicas, a saber: *produto interno bruto (PIB)* e *capacidade produtiva (CAP)*, esta última representando um subconjunto do *estoque de capital (K)*, para explicar, endogenamente, os ciclos de negócio, detectados a mais de século, em praticamente todas as economias, independentemente do tamanho e características do aparato produtivo-social. A hipótese básica assumida é a de que tais variáveis são resultantes de processos “naturais”, derivados da racionalidade “*zweckrational*”, ou seja, obedecendo a estatística de “*sanchos*”, responsáveis por fenômenos coletivos *determinísticos* no sentido social de Popper, não no sentido *estrito* da física. São fenômenos com alguma permanência, típicos de estados de *equilíbrio*, até certo ponto previsíveis, abaixo portanto, de um hipotético “*número de Reynolds*” da macroeconomia, ou seja, livres do efeito “*torcida*”, pelo menos inicialmente, uma vez que essa metodologia permite algumas incursões qualitativas associadas a efeitos complexos

ou *caóticos*. Em relação às prováveis e justificáveis críticas, que semelhante abordagem irá suscitar, dada a extrema simplificação adotada, vale citar [GLEISER M., (Março/1998)]:

*“Todo modelo tem suas limitações.[...]. Mas, em ciência, o fato de um modelo ser limitado não é necessariamente negativo. Pelo contrário, é justamente dessas limitações que surgem novas idéias, algumas delas capazes de suplantar toda uma visão de mundo. Em ciência, imperfeição é uma necessidade, mesmo que o objetivo seja sempre atingir a perfeição. Um dos aspectos mais importantes de um modelo não é o que ele pode explicar, mas o que ele não pode explicar. Suas limitações semearão o processo de descoberta que levará a modelos melhores, ou visões de mundo diferentes.”*

O objetivo é também, de *exercitar e praticar o conhecimento* no sentido kantiano, que, segundo [POPPER, (1995), pp395]):

*“Kant argumentou que o conhecimento não é uma coleção de dons, que tenhamos recebido de nossos sentidos e armazenados na mente, como se esta fosse um museu, senão que em grande medida é resultado de nossa atividade mental; que devemos dedicar-nos mui ativamente a investigar, comparar, unificar e generalizar se queremos alcançar o conhecimento.”*

As análises teórica e empírica, que serão apresentadas nas seções (3.3.6) e (3.3.7), compreende vários anos da economia brasileira. A seção (3.3.8) abordará a questão da estabilidade das seqüência histórica da relação PIB/estoque de capital, sob a luz da *teoria do caos*, especificamente utilizando a análise de Feigenbaum e dos expoentes de Lyapunov [PEITGEN, (1992)], para duas variáveis. Como dito acima, o aspecto mais promissor dessa nova abordagem é, paradoxalmente, a possibilidade da quebra do *determinismo* e da previsibilidade rígida de sistemas, outrora denominados “*clássico-newtonianos*”, permitindo outras soluções não aleatórias e nem triviais para o problema, ao menos nos subsistemas e variáveis macroeconômicas, nos quais ocorrem fenômenos muito semelhantes aos “*naturais*”.

### 3.3.6. MODELO PRESA-PREDADOR.

*“L'économique est une science de la vie, voisine de la biologie plutôt que de la mécanique.”*

O modelo não linear, apresentado a seguir, foi estabelecido, inicialmente, na biologia matemática, por Lotka em 1925 e Volterra em 1931 [BEDDINGTON, (1975)], para representar a dinâmica populacional de duas espécies coexistentes, a primeira, a *presa*, se alimentando dos recursos infinitos existentes e a outra, *predadora*, se alimentando da primeira espécie. Na ausência do *predador*, a outra espécie aumenta indefinidamente, a uma dada taxa de crescimento, assumida constante. Na ausência da *presa*, a outra perece por inanição. As equações diferenciais associadas ao problema na biologia, no qual duas espécies de animais convivem na forma, anteriormente apontada, serão agora, aplicadas, de forma simplificada, ao problema macroeconômico. É consenso, atualmente, de que o capitalismo moderno necessita de novas teorias [GUELLEC D. et alii, (1996)] e conceitos, como *estágios*, *decolagem*, *capital humano* e *capital tecnológico*, para explicar a dinâmica da produção de bens e serviços de um país. A noção, de que países, como os Estados Unidos, têm como principal motor em suas economias, o mesmo motor do velho capitalismo industrial, isto é, que o investimento e o acúmulo em bens de capital são os principais responsáveis pelo PIB e pelo desenvolvimento de um país, é hoje, consensualmente contestada. Dentre os argumentos favoráveis à esta contestação estaria o inegável colapso, em 1989, da antiga URSS, na qual o modelo central, baseado no esforço maciço de investimentos em infra-estrutura e indústrias de base, mostrou-se, numa avaliação superficial, uma condição, aparentemente, insuficiente para o desenvolvimento sócio-econômico, em suas múltiplas facetas. Analogamente, dentro da mesma linha de pensamento, o relatório *The Sources of Economic Growth in the United States* (Nova York, Committee for Economic Development, 1962)<sup>16</sup> mostra que a importância do aumento de estoque de bens de capital no aumento da renda nacional passou de 26%, no período de 1909-1929, para apenas 15% no período de 1929 a 1957. Entretanto, países como o Brasil, nos quais o processo de industrialização não se fez notar, ainda, na plenitude de seu funcionamento, a *formação bruta de capital fixo* representa um mecanismo explicativo importante para o comportamento dinâmico da macroeconomia e será o mecanismo básico a ser considerado, neste trabalho.

---

<sup>15</sup> Em [PASSET R., p.1, (1996)]

<sup>16</sup> Em [HEILBRONER R., p.306, (1972)]

Este modelo ingênuo e simplificado *não* tem a pretensão, obviamente, de reproduzir a complexa realidade econômica brasileira. Os aspectos envolvendo a complexa e não resolvida *teoria do desenvolvimento econômico de longo prazo*, evidentemente, não estão contemplados neste modelo, preocupado apenas com fenômenos específicos oscilatórios, importantes para a previsão de demanda de energia, no *curto prazo*.

As premissas, aproximações e hipóteses assumidas para este problema são:

- O *predador* será representado pelo *produto interno bruto* – PIB ( $y$ ) e, a *presa*, representada pela *capacidade produtiva* ou PIB *potencial* ( $x$ ) (máquinas, equipamentos, edificações, etc).

- O mecanismo pelo qual se obtém a produção de bens e serviços é através dos trabalhadores, que utilizam e *desgastam* os equipamentos postos à sua disposição. Assim, o resultado do trabalho, traduzido em bens e serviços e realizado com os bens e equipamentos de capital, durante o ano, representa o PIB total, *que será tanto maior, quanto maior for o uso e, conseqüentemente, o desgaste desses equipamentos*.

- Apesar das variáveis e conceitos utilizados no modelo, tais como - máquinas, equipamentos, edificações, infra-estrutura, desgaste, produção - possuem *significados e unidades físicos*, não serão estes utilizados e, sim, unidades monetárias constantes, referidas a um determinado ano escolhido.

- A depreciação do estoque de capital  $x$  é a redução do valor ativo desse estoque, devida a : a) desgaste natural, portanto proporcional a  $x$ ; b) desgaste pelo uso, portanto proporcional à produção de bens e serviços  $y$  e também a  $x$ , simultaneamente; c) obsolescência tecnológica e d) queda no preço de mercado.

- O conceito de depreciação ou o *desgaste* dos equipamentos, considerado neste modelo é, essencialmente, de natureza física e, portanto, será assumido como sendo composto, apenas das duas primeira parcelas a) e b) acima definidas. A primeira, proporcional à quantidade de equipamentos, representando, portanto a obsolescência, associada ao processo de desgaste natural e, a segunda, proporcional, não só à quantidade de equipamentos, mas também, simultaneamente proporcional à sua *utilização*, ou seja, deve se anular, no caso de produção nula. Uma boa escolha funcional para esta segunda parcela será, sem dúvida, pela sua simplicidade e elegância,

representá-la como o produto da *capacidade produtiva* e PIB. Assim a depreciação **D** pode ser escrita como:

$$D = \mu.x + \beta.x.y \quad \text{Equação (3.3.6.1ª)}$$

• A variação no tempo da capacidade produtiva está diretamente relacionada à variação do estoque de capital, que por sua vez, é alimentado pela FBCF, constituindo este processo, a origem e o cerne de toda complexidade e ignorância da evolução dinâmica do sistema econômico. A representação matemática deste mecanismo, ainda não foi, adequadamente estabelecida, constituindo-se na principal razão da “*inexistência de uma teoria decente*”<sup>17</sup> de crescimento. Uma possível representação para essa variação no tempo é aquela proposta por M. Kalecki, descrita no Apêndice, na qual o investimento no tempo presente ( $t$ ) é função de investimentos passados em ( $t-\omega$ ) e irá, obrigatoriamente, influenciar nos investimentos futuros em ( $t+\theta$ ). A FBCF é função de parâmetros, que refletem as decisões “racionais” de investir, o nível da poupança corrente, o efeito do aumento dos equipamentos e das variações nas taxas de lucros e da produção, constituindo seu estudo a base das modernas teorias do desenvolvimento, cujos aspectos principais são apresentados no Apêndice B.

• Assim considerando, assume-se, neste trabalho, como uma abordagem alternativa “ingênu” e simplificada do problema, que a taxa de crescimento, ou variação no tempo da capacidade produtiva  $x$ , seja proporcional à si própria ( $\chi.x$ ), com  $\chi > 0$ , descontada a depreciação  $D$ . Esta é uma hipótese razoável, uma vez que  $x$  varia diretamente com o estoque de capital  $K$ , que por sua vez cresce com a citada “*propensão atávica dos capitalistas a reinvestir os lucros, engrossando cada vez mais o estoque de capital*”<sup>18</sup>. Este é, usualmente dividido em a) *autônomo*; b) *induzido*; e c) *de reposição*, descritos anteriormente na seção (3.3.4). Pelo menos duas parcelas de  $I$ , o *investimento autônomo* e o *de reposição*, têm o comportamento assumido acima, isto é, independem de fatores conjunturais da economia. Em outras palavras, a hipótese acima significa que o capital tende naturalmente a se *reproduzir* e quanto maior for, tanto maior será a sua variação no tempo, um fenômeno análogo ao processo de crescimento populacional. Matematicamente:

---

<sup>17</sup> Citação de M. Boldrin em [ANDERSON et alii, p.250, (1988)].

<sup>18</sup> [SIMONSEN M., p.144, vol.2, (1974)].

$$x' = \chi \cdot x - D = \chi \cdot x - (\mu \cdot x + \beta \cdot x \cdot y) = \alpha \cdot x - \beta \cdot x \cdot y \quad \text{Equação (3.3.6.1)}$$

$$\text{com } \alpha = (\chi - \mu) > 0$$

• A variação no tempo do PIB ( $y'$ ) é composta de dois termos: primeiro, de forma positiva, através do mecanismo acima mencionado, de que o volume de produção está ligado diretamente ao *uso* dos equipamentos pelos trabalhadores, portanto, de forma proporcional ao segundo termo da depreciação, isto é, a  $(x \cdot y)$ . Segundo, de forma negativa, por um termo, que traduza o fato do PIB ser uma espécie de “estoque”, que se renova a cada ano, ou seja, tem as características de um “fluxo” anual. Aliás, a diferença entre os conceitos de “estoque” e de “fluxo” é, basicamente, o intervalo e a unidade de tempo que se considera no *problema dinâmico discreto*, podendo o “estoque” ser considerado como “fluxo”, desde que se tome como unidade temporal, um intervalo de tempo, suficientemente longo e, inversamente, um “fluxo” pode ser visto como um “estoque”, se o intervalo de tempo for suficientemente pequeno. Essa questão está relacionada com a “destinação” do PIB, ao final de cada ano: observando-se pelo lado da demanda, parte é consumido, parte retorna ao estoque como investimento, parte pode ser enviado ao exterior e parte é poupado, ou seja, ele “perde” sua identidade e é zerado ao final do período anual, quando é computado. Este segundo termo de  $y'$  é responsável, também, pelo fato desta variação tender a zero, se a capacidade produtiva for nula. Na ausência da “presa” (capacidade produtiva), o “predador” (PIB) deve “se esvaír”. Portanto, uma boa escolha funcional é:

$$y' = -\gamma \cdot y + \delta \cdot x \cdot y \quad \text{com } \gamma \text{ e } \delta > 0. \text{ Matematicamente, } y' \rightarrow 0, \text{ quando } x \rightarrow 0.$$

•Portanto, essas grandezas serão representadas, para efeito do desenvolvimento matemático, por:

$x = \textit{presa}$  - capacidade produtiva ou PIB potencial e é um subconjunto de  $K$ .

$y = \textit{predador}$  - produto interno bruto – PIB

$I = \textit{investimento}$

$K = \textit{estoque de capital}$

$x' = \textit{derivada da capacidade produtiva em relação ao tempo}$

$y'$  = derivada do produto interno bruto em relação ao tempo

Em outras palavras, a intensidade do “encontro” ou interação entre “presa” e “predador” é proporcional ao produto das respectivas “populações”, isto é, a interação tende a promover o crescimento do PIB (predador)  $y$  e inibir o crescimento da capacidade produtiva (presa)  $x$ . Assim, a taxa de crescimento do PIB é acrescida por uma parcela da forma  $\delta xy$ , enquanto que a taxa de crescimento da capacidade produtiva é diminuída por uma parcela  $\beta xy$ , na qual  $\beta$  e  $\delta$  e são constantes positivas.

No propósito didático de esclarecer o estabelecimento dessas equações diferenciais, apresenta-se, primeiramente, o problema *discreto* ou *equações de diferença* equivalente, em geral, de mais fácil compreensão e que pode ser escrito, matematicamente, da seguinte forma:

a) Para o acréscimo da capacidade produtiva  $\Delta x(t)$ , no interregno de *um ano*:

$$\Delta x(t) = x(t) - x(t-1) = \alpha \cdot x(t-1) - \beta \cdot x(t-1) \cdot y(t-1) \quad \text{Equação (3.3.6.1-d)}$$

b) Para o acréscimo do produto interno bruto  $\Delta y(t)$ , no interregno de *um ano*, lembrando-se da propriedade de *fluxo* da variável  $y(t)$ . Por este motivo,  $y(t)$  *não* deve conter nenhum resíduo do seu valor do ano anterior,  $y(t-1)$ :

$$\Delta y(t) = y(t) - y(t-1) = -y(t-1) + \delta \cdot x(t-1) \cdot y(t-1) \quad \text{Equação (3.3.6.2-d)}$$

Note-se que a equação (3.3.6.2-d) para o PIB do ano  $[y(t)]$ , exibe uma estrutura de produção semelhante às utilizadas nos modelos macroeconômicos tradicionais. Apenas que, ao invés dos *fatores de produção* ( $K$ ) e ( $L$ ), a produção é, por hipótese, proporcional à uma *função homogênea de segundo grau*, nas variáveis PIB e estoque de capital, defasadas de um período. Estendendo-se o problema *discreto* para um sistema *contínuo*, pode-se generalizar as equações de diferenças acima, para equações diferenciais, nas variáveis  $x$  e  $y$ :

$$x' = \alpha x - \beta x y \quad \text{Equação (3.3.6.1)}$$

$$y' = -\gamma y + \delta x y \quad \text{Equação (3.3.6.2)}$$

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  são todos positivos e assumidos como constantes, lembrando que  $\gamma=1$ , no *caso discreto*, com unidade de tempo igual ao ano, no qual este trabalho está focado. As

equações acima são conhecidas como equações de Lotka – Volterra, desenvolvidas nos anos de 1925 e 1926, que apesar do aspecto aparentemente simples, são equações não lineares nos termos dependentes de  $xy$ .

O procedimento usual [BOYCE,(1998)], para se estudar tais tipos de equações é, inicialmente, a identificação dos pontos “críticos” desse sistema, isto é, os pontos nos quais a derivada primeira é nula, geralmente, indicando algum tipo de equilíbrio. Em seguida, procuram-se as soluções do problema linear correspondente, nas vizinhanças desses pontos “críticos”. Portanto, os pontos de equilíbrio do problema acima, são soluções das equações:

$$x.(\alpha - \beta y) = 0 \quad \text{e} \quad y.(-\gamma + \delta x) = 0$$

isto é, os pontos  $(0, 0)$  e  $(\gamma/\delta, \alpha/\beta)$ . Examinando, inicialmente as soluções em torno da origem, têm-se o sistema linear correspondente:

$$x' = \alpha x \quad \text{e} \quad y' = -\gamma y$$

cujas soluções são, respectivamente:

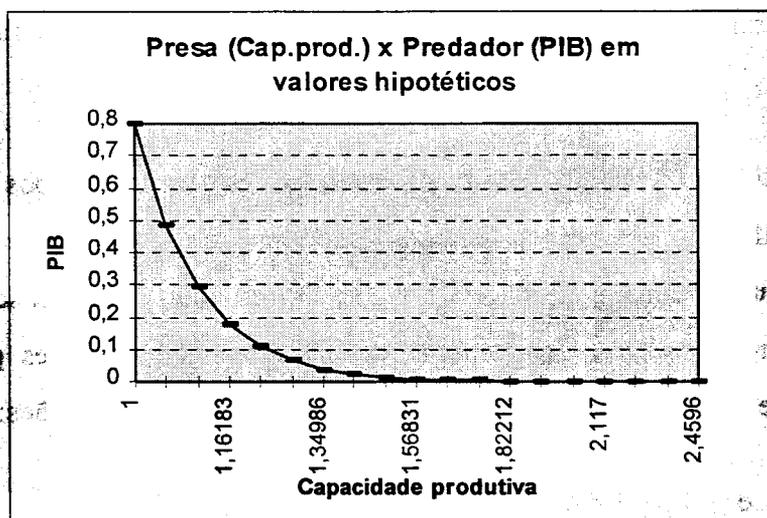
$$x(t) = c1.exp(\alpha t) \quad \text{e} \quad y(t) = c2.exp(-\gamma.t)$$

$c1$  e  $c2$ , são constantes, cujos significados são determinados pelas condições iniciais. Assim, para  $t=0 \Rightarrow c1 = x(0) =$  capacidade produtiva inicial

$$\text{e} \quad c2 = y(0) = \text{PIB inicial}$$

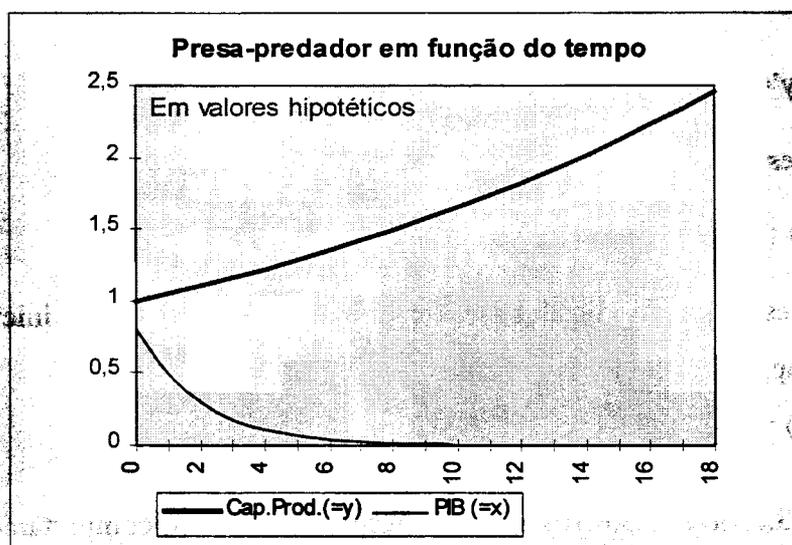
Os gráficos (3.3.6.1a) e (3.3.6.1b) mostram, respectivamente, o comportamento do PIB e da capacidade produtiva e o comportamento destas variáveis com o tempo, em *valores hipotéticos*, apenas como ilustração. As condições iniciais são:  $x(0) = 1$ ,  $y(0) = 0,8$ ,  $\alpha = 0,05$  e  $\gamma = 0,5$ .

GRAFICO (3.3.6.1a): PIB versus capacidade produtiva, em torno de (0;0).



Fonte: Elaboração própria.

GRAFICO (3.3.6.1b): PIB e capacidade produtiva, em função do tempo.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, que a solução, em torno do primeiro ponto crítico (0;0), ou seja, quando (x; y) são “pequenos”, comparados com os parâmetros do sistema ( $\gamma/\delta$ ,  $\alpha/\beta$ ), a tendência “natural” é de decaimento do PIB, concomitantemente a um acúmulo de capital. Isto, tem como consequência, uma queda na produtividade do capital, comportamento este, observado na prática, em muitos casos.

Considerando-se o outro ponto crítico ( $\gamma/\delta$ ,  $\alpha/\beta$ ), a busca das soluções em torno deste ponto, é realizada através das seguintes transformações lineares:

$$x = (\gamma/\delta) + u \quad \text{e} \quad y = (\alpha/\beta) + v$$

O problema linear, nas vizinhanças desse ponto crítico, se transforma num caso similar ao caso anterior, isto é, o sistema de equações se torna igual a:

$$u' = -(\beta\gamma/\delta).v \quad \text{e} \quad v' = (\delta\alpha/\beta).u \quad \text{Equações (3.3.6.3) e (3.3.6.4)}$$

os auto-valores desse sistema linear são números imaginários,  $r = \pm i (\alpha\gamma)^{1/2}$ , de forma que esse ponto crítico é um centro estável do sistema linear, em torno do qual existem soluções oscilatórias, de frequência  $(\alpha\gamma)^{1/2}$ , apresentadas adiante. Para se determinar as trajetórias desse sistema, divide-se a segunda equação pela primeira, obtendo-se:

$$dv/du = -[(\delta\alpha/\beta).u]/[(\beta\gamma/\delta).v]$$

ou, equivalentemente:

$$(\beta^2\gamma) \int v.dv + (\delta^2\alpha) \int u.du = 0$$

Integrando-se, essa equação, obtém-se:

$$(\beta^2\gamma) v^2 + (\delta^2\alpha).u^2 = k$$

que são equações de elipses, nas quais  $k$  é uma constante de integração positiva, a ser determinado pelas condições iniciais. Portanto, nas proximidades desse ponto crítico as soluções desse sistema são funções periódicas, cujas trajetórias são representadas por elipses regulares, nas variáveis  $u$  e  $v$ .

Voltando ao problema original, não linear das equações (3.3.6.1) e (3.3.6.2), observa-se que podem ser escritas numa única equação:

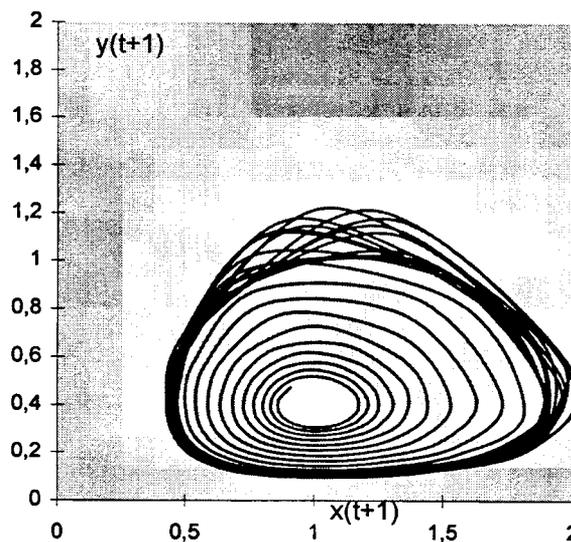
$$dy/dx = [y (-\gamma + \delta x)]/[x(\alpha - \beta y)]$$

que tem variáveis separadas, podendo-se integrá-la diretamente, como no caso anterior linear, fornecendo a expressão:

$$\alpha.\ln y - \beta.y + \gamma.\ln x - \delta x = C \quad \text{Equação (3.3.6.5)}$$

onde  $C$  é uma constante de integração e as trajetórias da equação (3.3.6.5), são órbitas fechadas, para um  $C$  fixo, circundando o ponto crítico  $(\gamma/\delta, \alpha/\beta)$ , que é um centro do sistema não-linear geral. Os gráficos (3.3.6.2) e (3.3.6.3), abaixo mostram as trajetórias do sistema geral nos eixos  $x$  e  $y$ , para particulares valores dos parâmetros de controle  $a$  e  $h$ , nos quais comparecem soluções periódicas elípticas, próximas ao ponto crítico  $(x_c, y_c)$ , no primeiro gráfico. Nota-se a tendência, com o passar do tempo, das soluções caminharem lentamente para uma zona de atração, na borda da figura obtida. No segundo gráfico, essas mesmas soluções são representadas em função do tempo, mostrando nitidamente a defasagem de  $\frac{1}{4}$  de ciclo, ao menos no entorno do ponto crítico, entre a presa e o predador, como era de se esperar, em se tratando de soluções seno e coseno, com o mesmo argumento.

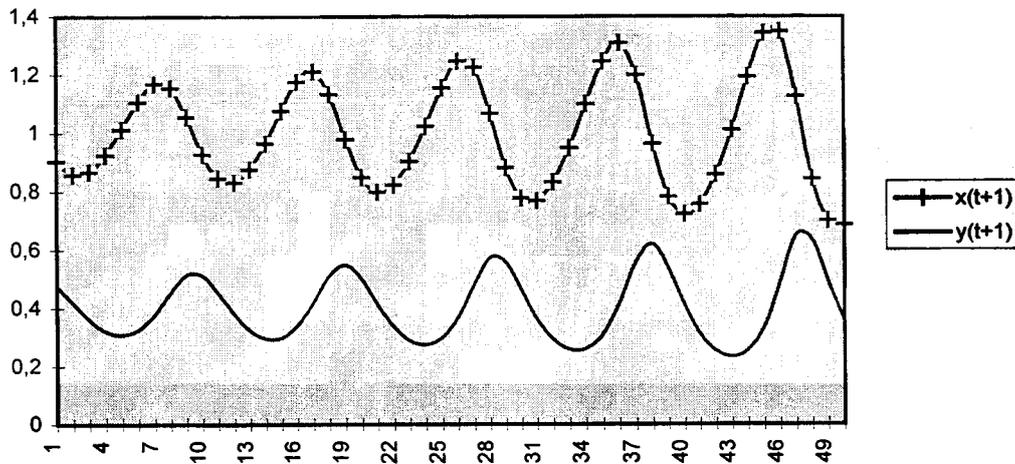
GRAFICO (3.3.6.2): Sistema *presa - predador* - soluções gerais. Desenvolvimento em torno do ponto crítico  $(x_c, y_c) = (\gamma/\delta=1, \alpha/\beta=0.4)$ , para,  $h = 1, \gamma = 1, \delta = 1, \alpha = a = 0.4$ , e  $\beta = 1$ . As *condições iniciais* foram  $x(0) = 1$  e  $y(0) = 0,5$ .



Fonte: Elaboração própria.

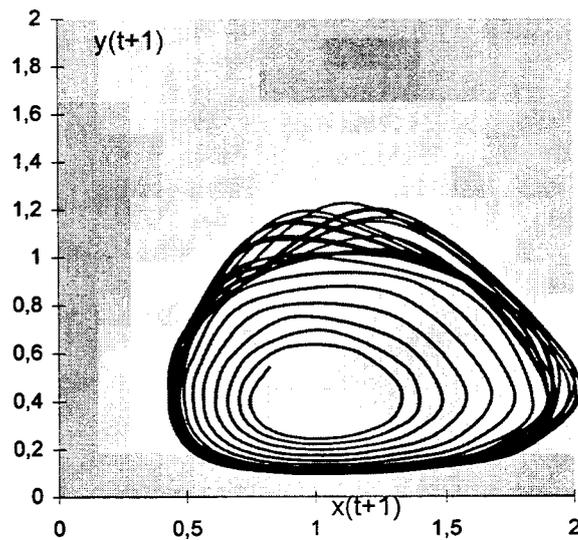
Os gráficos (3.3.6.4a) e (3.3.6.4b) mostram o problema anterior, quando se troca uma das condições iniciais, no caso  $y(0)$ , que passa para 0,6.

GRÁFICO (3.3.6.3): Sistema presa-predador, em função do tempo (nas condições anteriores).



Fonte: Elaboração própria.

GRÁFICO (3.3.6.4a): Sistema presa-predador, com condições iniciais  $x(0) = 1$  e  $y(0) = 0,6$ .

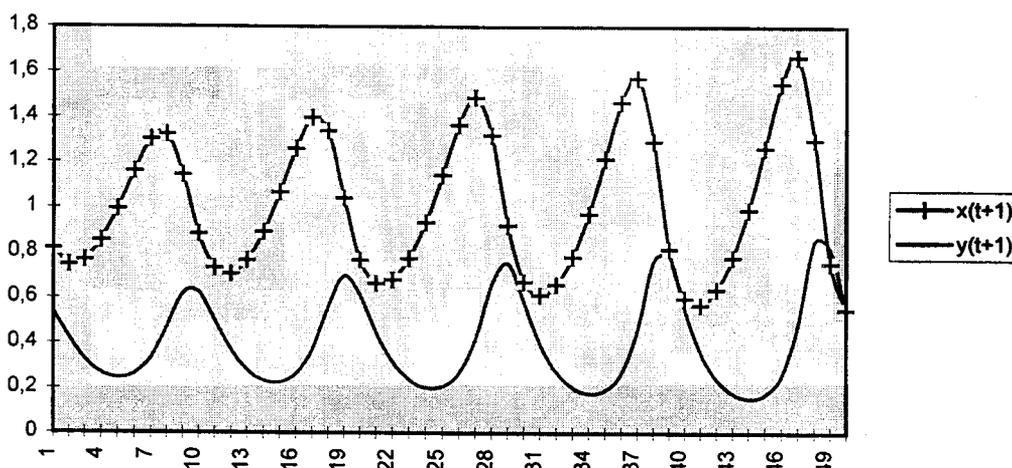


Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que o período das oscilações continua inalterado ( $T = 9,9$ ), como era de se esperar, pois depende somente de  $a (= 0.4)$ , igual para ambos os casos. Nota-se que, apesar da alta sensibilidade às condições iniciais, traduzida pelo aumento final da amplitude de oscilação, *esta*

*mantém-se estável por muito tempo*, antes de atingir a zona de atração, localizada nas bordas da figura.

GRÁFICO (3.3.6.4b): Sistema presa-predador, em função do tempo, nas condições anteriores.



Fonte: Elaboração própria.

Os gráficos acima foram obtidos, discretizando-se a *solução contínua geral* [equações (3.3.6.1) e (3.3.6.2)], pelo descrito a seguir. Antes, porém, essas equações são reduzidas às formas:

$$X' = aX - XY \quad \text{Equação (3.3.6.1)'}$$

$$Y' = -Y + XY \quad \text{Equação (3.3.6.2)'}$$

através da seguinte mudança de variáveis:  $T = s_1 \cdot t$ ,  $x = s_2 \cdot X$ , e  $y = s_3 \cdot Y$ , nas quais  $a = \alpha/\gamma$ ,  $s_1 = 1/\gamma$ ,  $s_2 = \gamma/\delta$ , e  $s_3 = \gamma/\beta$ . Uma das formas de se discretizar as equações acima é através do método de Heun [SPROTT, (1995)]:

$$X_+ = X + (\mathbf{h}/2) \cdot \{f(X, Y) + f[X + \mathbf{h} \cdot f(X, Y), Y + \mathbf{h} \cdot g(X, Y)]\}$$

$$Y_+ = Y + (\mathbf{h}/2) \cdot \{g(X, Y) + g[X + \mathbf{h} \cdot f(X, Y); Y + \mathbf{h} \cdot g(X, Y)]\}$$

nas quais  $X_+$  e  $Y_+$  são valores de  $X$  e  $Y$ , no instante seguinte e,

$$f(X, Y) = aX - XY \quad \text{e} \quad g(X, Y) = -Y + XY$$

os parâmetros  $h$  e  $a$ , que aparecem nos gráficos (3.3.6.2) e (3.3.6.3) são os mesmos que aparecem nas equações acima. Esta discretização implica em taxas de crescimento que dependem das populações de instantes anteriores ( $t-1$ ) e não das populações instantâneas. Entretanto, para  $h$  suficientemente pequeno essas soluções correspondem aproximadamente às soluções exatas. O ponto ( $x=1, y=a$ ) é um ponto fixo instável, mostrando o caráter flutuante das soluções, como regra e não como exceção.

Para se observar as variações cíclicas entre a capacidade produtiva e produto interno bruto, principal objeto deste trabalho, retorna-se ao problema linear, representado pelas equações (3.3.6.3) e (3.3.6.4), cujas soluções no entorno do *ponto crítico* ( $\gamma/\delta, \alpha/\beta$ ) podem ser escritas como:

$$u(t) = (\gamma/\delta).K.\cos(\omega t + \phi) \quad \text{e} \quad v(t) = (\alpha/\beta).(\gamma/\alpha)^{1/2}.K.\sin(\omega t + \phi)$$

onde as constantes  $K$  e fase  $\phi$  são determinadas pelas condições iniciais. As equações para  $x(t)$  e  $y(t)$  são:

$$x(t) = (\gamma/\delta)[1 + K.\cos(\omega t + \phi)] \quad \text{Equação (3.3.6.6)}$$

$$y(t) = (\alpha/\beta).[1 + (\gamma/\alpha)^{1/2}.K.\sin(\omega t + \phi)] \quad \text{Equação (3.3.6.7)}$$

$$\text{com } \omega = (\alpha\gamma)^{1/2}$$

e conseqüentemente o período  $T$ , válido no entorno do ponto crítico, igual a:

$$T = 2.\pi / \omega = 2.\pi / (\alpha\gamma)^{1/2} \quad \text{Equação (3.3.6.8)}$$

Essas equações são válidas para as trajetórias elípticas, nas vizinhanças do *ponto crítico* acima. As conclusões, para esse caso serão apresentadas no Capítulo 4, seção (4.1), na qual são feitas algumas simulações numéricas, utilizando-se tanto a técnica de *System Dynamics*, por motivos didáticos para se tratar as equações (3.3.6.1-d) e (3.3.6.2-d), quanto pelo método de Heun, apresentado anteriormente, para mostrar o comportamento dinâmico do sistema *presa-predador*.

Como ocorre com a teoria de Kalecki (op.cit., p.157), existem soluções “explosivas” pouco realistas neste modelo, indicando extrema sensibilidade às condições iniciais, como mostra o

estudo numérico da seção (4.1). Entretanto, isto se dá, apenas a longo prazo e, poderia, em princípio, ser resolvido com a inclusão de um termo de “amortecimento”, desde que se soubesse a natureza de tal “força dissipativa”.

O modelo *presa-predador*, já havia sido transposto para a economia por Goodwin em 1967 [ABRAHAM, p.143-156, op. Cit.] e posteriormente tratado por P. A. Samuelson, em *Generalized Predator-Prey Oscillations in Ecological and Economic Equilibrium*, Cambridge, MIT Press, (1971-1972). As duas variáveis dinâmicas consideradas nesses trabalhos se situam sob a ótica do conflito entre classes sociais, os *assalariados* e os *capitalistas-empresários*. Apesar do irrefutável apelo ideológico contido no nome do modelo, existe entretanto, uma paradoxal inversão de papéis: os *trabalhadores*, através dos salários representam os *predadores* e o *emprego*, propiciado pelos capitalistas, a *presa*. A amaldiçoada e antiga relação existente entre seres humanos, resultando numa estratificação entre *exploradores* e *explorados*, não é, exatamente, o enfoque utilizado nos referidos trabalhos.

As soluções das equações (3.3.6.1) e (3.3.6.2), representadas pelos gráficos (3.3.6.2) e (3.3.6.3) exibem, além das soluções oscilatórias elípticas, em torno do ponto crítico ( $\gamma/\delta$ ,  $\alpha/\beta$ ), outros resultados surpreendentes, dependendo dos valores dos parâmetros *a* e *h*, difíceis até de serem interpretados do ponto de vista econômico, mas que fazem parte do rol de soluções do sistema de equações não lineares. Essa riqueza de comportamento, principal aspecto abordado nesta tese, está de acordo com as observações feitas em [DAMÁSIO, p. 190, (1995)], a propósito da possibilidade de uma *universalidade* da economia científica:

*“Finalmente, resta-nos discutir a possibilidade de existência de uma “ordem mascarada”, estruturada, no âmbito dos fenômenos econômicos observáveis. Uma ordem, que emergiria de comportamentos aparentemente aleatórios de uma desordem aparente. É difícil evitar que o parágrafo acima seja imediatamente associado a uma postura voluntarista, dogmática, ou até mesmo mística. Pode soar como a procura da quadratura do círculo; do moto perpétuo; da rosa azul; da fonte da juventude; do abominável homem das neves. Mas é precisamente isso - sugestões de estruturas estáveis sem aleatoriedade, a partir de observações do mundo real (!) - que os recém-chegados analistas do caos afirmam ser possível descobrir, e garantem que vêm descobrindo. A simples menção de que essas análises possam ser extensíveis ao estudo de dinâmicas econômicas como elas se*

*apresentam na realidade, deve causar estupefação e perplexidade. Entretanto, pode ser que seja um objeto cognitivo legítimo.”*

Analogamente, na mesma linha de pensamento, a citação de F. J. Cardim de Carvalho, em [SILVEIRA, p. 234, (1995)], reforça a prevalência deste tipo de comportamento dinâmico na economia:

*“As economias seguem por caminhos pelo menos aparentemente erráticos, atingem situações imprevisíveis, persistem em estados que todos considerariam insustentáveis, descobrem trajetórias surpreendentes. Há flutuações, crises, conjunturas explosivas, mudanças de rotas, transições de apogeu a declínio, etc. Será possível entender-se tais movimentos pela atração exercida pela norma, pelo equilíbrio?”*

### 3.3.7. MODELO EMPÍRICO MACROECONÔMICO - O CASO BRASILEIRO.

Na seção anterior foi mostrado que o *modelo não linear presa-predador*, tem uma atratividade do ponto de vista teórico, pelo fato de oferecer um possível mecanismo, capaz de explicar a formação de ciclos econômicos, em função do investimento. Entretanto, é um modelo difícil de ser ajustado e utilizado, dada as suas características não lineares e, além disso, ele não explica a principal característica do PIB de um país, ou seja, o seu comportamento crescente de longo prazo. Assim, essa seção será dedicada à apresentação de um modelo empírico, ajustado aos dados históricos, que contenha ambas as características apontadas para o PIB: a de crescimento no longo prazo e a de comportamento oscilatório.

A série histórica de dados macroeconômicos utilizada nesse trabalho, compreende o período de 1970 a 1997, apesar de existirem informações desde 1947. A razão por se optar por uma série recente, mais curta, foi essencialmente, de natureza pragmática: para a determinação do estoque de capital, ano a ano, como equivalente ao seu valor anterior, acrescido do investimento líquido, foram utilizados as proporções em relação ao PIB, das fontes bibliográficas citadas na tabela (2.2.2.2), do capítulo 2, no qual comparecem o PIB e a FBCF em mil cruzados constantes de 1980. A partir do trabalho de J. C. Carvalho, descrito na seção (4.1), onde se faz uma estimativa da relação capital/produto igual a 2,5773, utilizado para o cálculo do estoque de capital em 1970. Este mesmo trabalho, fornece também, uma estimativa da *depreciação média do estoque de capital igual a 4,32% do estoque do ano anterior no período 1975-1995*, sendo, portanto, possível a remontagem de uma série do estoque de capital. Essa prática levaria a erros muito grandes, se fosse estendida para anos muito distantes, nos quais houve diferentes critérios de preços para se encadear as diversas séries construídas pelo IBGE, distorcendo as estimativas. Por outro lado, o propósito deste trabalho, não é de se ater a grandes preciosismos estatísticos. Aliás, a citação de Charles S. Peirce, na seção (3.1), a propósito da precisão das medidas físicas, no final do século passado, serem semelhantes às medições que fazem os fabricantes de almofadas e cortinas, cabe aqui perfeitamente, em se tratando da “precisão”, na determinação e estimativas dos grandes agregados macroeconômicos brasileiros.

O estoque de capital (K) no ano (t) foi, portanto, obtido adicionando-se a K do ano anterior (t-1), o Investimento líquido do ano (t), isto é, igual ao Investimento bruto, FBCF menos a Depreciação, sendo esta assumida, portanto **igual a 4,32% do estoque de capital do ano anterior, K(t-1)**:

$$K(t) = K(t-1) + I(t) - D(t) \quad \text{Equação(3.3.7.1)}$$

Portanto, uma vez conhecido o Estoque de Capital em algum ano, é possível reconstruir-se a série completa, através da operação de adição ou subtração dos investimentos líquidos, dependendo se a seqüência de interesse é futura ou passada. Uma estimativa do estoque de capital para o ano de 1959, tecnicamente justificada, pode ser encontrada em [FISHLOW, (1972)]. Uma análise histórica, metodologicamente detalhada dos aspectos envolvendo o cálculo do estoque de capital está em [SUZIGAN, (1974)]. Em relação aos cálculos de variáveis macroeconômicas a preços constantes vale lembrar uma citação de Ricardo Bielschowsky<sup>1</sup>:

*“Adverte-se que subsistem os problemas de sempre, quando se usam estatísticas de investimento a preços constantes, especialmente no Brasil, dado que não há séries de preços de bens de capital por setor de uso - e, mesmo que houvesse, não solucionaria o problema de medição em setores com intenso progresso técnico, como o de telecomunicações. Vale lembrar, também, que há uma estranha divergência entre as séries de evolução da formação bruta de capital a preços correntes e a preços constantes a partir de 1987, que chegam a alcançar diferenças de 5 a 6 pontos percentuais do PIB. A interpretação usual sobre isso é a de que os preços dos bens de investimento (equipamentos e construção civil) elevaram-se muito em relação aos demais preços da economia. Pires de Souza (1996) estudou o tema e concluiu que o aumento dos preços relativos dos bens de investimento foi muito menor do que o que se supõe, e que a divergência deve-se ao fato de que o IBGE calculou deflatores implícitos do PIB que diferem marcadamente de todos os principais índices de preços da economia, inclusive dos preços de bens de capital. Isto significa que o PIB nominal teria sido sistematicamente subestimado, levando a calcular-se taxas de investimento nominais sistematicamente super-estimadas. A descoberta de Pires de Souza é animadora, porque implica dizer que os requisitos de poupança e investimento para uma mesma adição de capacidade produtiva podem ser menores do que os que até aqui se supunha.”*

---

<sup>1</sup> Em [BIELSCHOWSKY R., p.1, (1998)].

TABELA (3.3.7.1): PIB, investimento bruto, estoque de capital e relação PIB/K.

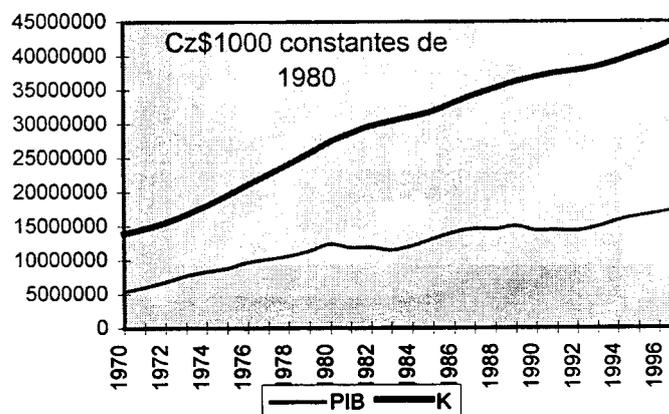
PIB, K e FBCF em Cz\$1000 constantes de 1980.					
ANO	PIB	FBCF(%PIB)	FBCF	K	Y/K
1970	5418500	0,2057	1114585	13965100	0,3880
1971	6036771	0,2131	1286436	14651037	0,4120
1972	6758074	0,2222	1501644	15522686	0,4354
1973	7700322	0,2358	1815736	16670947	0,4619
1974	8335945	0,247	2058978	18013074	0,4628
1975	8762865	0,2577	2258190	19496702	0,4495
1976	9654222	0,2502	2415486	21073831	0,4581
1977	10129966	0,2356	2386620	22554276	0,4491
1978	10629123	0,2351	2498907	24083349	0,4413
1979	11348343	0,2288	2596501	25644266	0,4425
1980	12399842	0,2277	2823444	27365006	0,4531
1981	11853391	0,2088	2474988	28663299	0,4135
1982	11929103	0,1937	2310667	29741444	0,4011
1983	11515673	0,1684	1939239	30401802	0,3788
1984	12104401	0,1619	1959703	31054227	0,3898
1985	13114496	0,1632	2140286	31859181	0,4116
1986	14108655	0,1866	2632675	33121911	0,4260
1987	14617818	0,178	2601972	34299640	0,4262
1988	14577572	0,1696	2472356	35297112	0,4130
1989	15058403	0,1662	2502707	36282043	0,4150
1990	14410892	0,1551	2235129	36957044	0,3899
1991	14459587	0,1517	2193519	37561411	0,3850
1992	14340555	0,1398	2004810	37951080	0,3779
1993	14941122	0,1438	2148533	38467717	0,3884
1994	15836561	0,1527	2418243	39231848	0,4037
1995	16507465	0,1662	2743541	40288419	0,4097
1996	16963071	0,16	2714091	41270108	0,4110
1997	17587312	0,175	3077780	42573273	0,4131

Fonte: [IBGE, (1990)], [INDICADORES DIESP, (1999)], [ALÉM, (1997)].

O gráfico (3.3.7.1) mostra simultaneamente a evolução do PIB e de K, de acordo com os valores da Tabela(3.3.7.1). Observa-se uma decalagem entre essas variáveis, observável já, a partir dos anos sessenta, que pode ser explicada ou pela intensificação do capital no sistema produtivo (diminuição da produtividade marginal do capital), ou, por uma razão menos espetacular, de ordem metodológica, ao se calcular a *depreciação*, assumida constante, igual a 4,32% do estoque de capital do ano anterior. Apesar deste valor se encontrar num patamar muito

mais elevado do que os cálculos feitos usualmente, existe a possibilidade de que este cálculo esteja ainda subestimado e insuficiente para traduzir a real dinâmica do processo.

GRÁFICO (3.3.7.1): PIB e estoque de capital - Brasil.



Fonte: tabela (3.3.71)

Este foi o *valor médio da depreciação* extraído do trabalho de [CARVALHO C.J., (1996)], calculado sobre o período 1975/1995. Neste trabalho, apresentado na seção (4.1), é avaliado estatisticamente, além de várias grandezas macroeconômicas, tais como o *produto potencial* e a relação *capital/produto*, a variável *depreciação do estoque de capital*, ano a ano, para todo o período citado, chegando à conclusão do forte caráter pró-cíclico da mesma. Outros autores<sup>2</sup>, como já foi mencionado, calculam a *depreciação* do capital, como um percentual do PIB, baseando-se no argumento de que a *depreciação física* estaria muito mais relacionada com a atividade de *produção* ou do PIB, do que com a *existência* do estoque de equipamentos em si. Essa metodologia também é sugerida na referência [CONTAS NACIONAIS DO BRASIL, (1972)], que adota a taxa fixa de 5% sobre o PNB e preços de mercado, taxa essa derivada do setor industrial e calculada com base nas imobilizações de ativo fixo do Censo Industrial. Contudo, essa forma de cálculo da *depreciação* produz, numericamente, valores bastante inferiores comparados com a metodologia aqui adotada, levando a um acúmulo menos realista ainda, do *estoque de capital*.

<sup>2</sup> [IPT, (1986)], [JUHAS L.J., (1999)].

Nota-se pelo gráfico(3.3.7.1), principalmente no PIB, uma oscilação, principal objeto de interesse deste trabalho e que foi detetado e descrito para outros países a mais de um século por Clement Juglar [TVEDE, (1997)], associando tais oscilações ao crédito e aos investimentos de capital existentes na economia.

Para se estudar empiricamente a existência de uma relação dinâmica entre estas variáveis, primeiramente se apresenta no gráfico (3.3.7.2) a evolução da relação do PIB e do Estoque de Capital, referido de ora em diante por (Y/K).

O fato mais interessante, que pode ser visualmente comprovado, é a evidente variação das freqüências ou, equivalentemente, nos períodos de oscilação, no interregno considerado no gráfico citado. Entre 1973 a 1980 existem oscilações de períodos, nitidamente, mais curtos do que os observados entre 1981 e 1987. Este fato está, qualitativamente, de acordo com a teoria desenvolvida na seção anterior, o modelo *presa-predador*, a qual fornece o *período de oscilação*, calculado como sendo inversamente proporcional à raiz quadrada do acréscimo bruto da capacidade produtiva. Ora, de 1973 a 1980, a média da formação bruta de capital fixo, FBCF foi na média igual a 23,97% do PIB, a preços (Cz\$1000) constantes de 1980, como pode ser visto na tabela (3.3.7.1). Entre 1981 a 1987, o valor médio do FBCF foi de 18,01% do PIB e de 1988 a 1997, este valor corresponde à 15,80% do PIB.

O gráfico (3.3.7.2) exhibe, além disso, três importantes características:

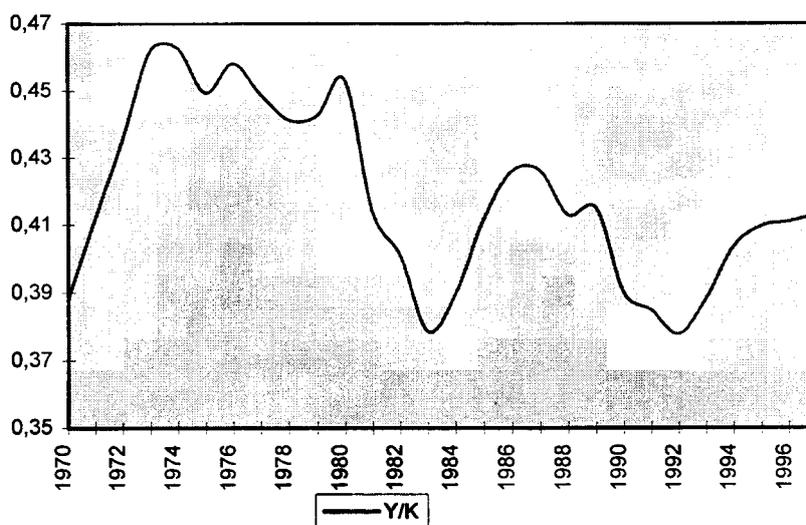
- Decréscimo na relação Y/K, indicando uma crescente intensificação do Capital em relação ao Produto. Em outras palavras, cada vez mais Capital sendo empregado para gerar uma unidade de Produto. Tal fenômeno pode ser explicado através do modelo de crescimento de Robert Solow [ABRAHAM-FROIS, pp.12-28, (1995)], no qual o *capital* desloca o *trabalho* na *função de produção*, ou, segundo M. H. Simonsen<sup>3</sup> à “propensão atávica” dos capitalistas a reinvestir os lucros, engrossando cada vez mais o estoque de capital.

---

<sup>3</sup> Em [SIMONSEN H. M., p.144, vol.2, (1974)].

- Realce da oscilação acima referida, mostrando nitidamente períodos típicos dos ciclos de Juglar, descritos em seu célebre trabalho “*Les Crises Commerciales et leur Retour Périodique en France, en Angleterre et aux États Units*”, em 1862.
- Um comportamento bastante regular em todos estes anos, apesar das inúmeras convulsões político-econômico-sociais, ocorridas neste período, sugerindo um sistema Hamiltoniano amortecido, ou seja, análogo aos sistemas conservativos, descritos na Mecânica Clássica [GOLDSTEIN, (1966)], por equações diferenciais com variáveis canonicamente conjugadas *mais* um termo dissipativo. Coincide também com o comportamento observado nas soluções numéricas, apresentadas na seção (3.3.6) - modelo *presa-predador* - adaptado às variáveis PIB e capacidade produtiva, no qual se observa uma forte estabilidade nas amplitudes de oscilação iniciais, que se mantêm por muitos anos, até convergirem para as soluções, localizadas nas bordas do atrator.

GRÁFICO (3.3.7.2): Relação PIB/estoque de capital - Brasil.



Fonte: Tabela (3.3.7.1)

No que concerne à queda da produtividade do capital, pode-se afirmar que este é um fenômeno bastante generalizado em outros países, com exceção dos Estados Unidos, como se observa pela tabela (3.3.7.2).

TABELA (3.3.7.2): Relação capital/PIB, para alguns países.

	1890	1913	1950	1973	1992
Japão	0,7	0,9	1,7	1,7	3,0
Alemanha	nd	nd	1,8	1,9	2,3
França	nd	nd	1,6	1,6	2,3
E U A	3,1	3,3	2,5	2,1	2,4

Fonte: Maddison (1995) em [GUELLEC D., p.19, (1996)].

É interessante citar [GUELLEC D., p.18, op.cit.], a propósito da importância do acúmulo de capital, no processo dinâmico capitalista:

*“O capital físico acumulado é uma fonte de criação de riquezas, cuja análise é inevitável. O número de máquinas e usinas tem evidentemente uma influência sobre o nível de produção. [...] Ceteris paribus, o nível de produção é tanto maior quanto maior for o nível do estoque de capital. Indiretamente, a acumulação de capital físico promove a incorporação de progresso técnico nas máquinas. O capital tem, portanto, um duplo papel: economizar trabalho e favorecer o progresso técnico.”*

Outro fato interessante, apontado por este autor (página 24), é o que ele denomina de *paradoxo da produtividade*, que consiste na crença de que, se a tecnologia representa, realmente, um fator de aumento da produtividade do capital, esta não deveria cair naqueles países, nos quais o investimento em pesquisa e desenvolvimento tem aumentado consideravelmente, a partir dos anos setenta, como é o caso da França, Alemanha e Japão.

M. Kalecki<sup>4</sup> mostra que o processo dinâmico real pode ser analisado e dividido em a.) flutuações cíclicas, cujo padrão é o mesmo do sistema estático e b.) uma tendência contínua a longo prazo. De fato, dividindo tanto a variável PIB, quanto o estoque de capital K, em duas componentes, de acordo com a hipótese acima, separa-se os efeitos do *estoque de capital* em duas

<sup>4</sup> Em [KALECKI M., cap.14, (1978)].

partes, responsáveis, respectivamente, pelo comportamento de cada uma das parcelas do PIB, isto é, o comportamento oscilatório e o de longo prazo. Assim:

$$Y = y^{\circ} + y \quad \text{Equação (3.3.7.2a)}$$

$$K = k^{\circ} + k \quad \text{Equação (3.3.7.2b)}$$

Assumindo que o comportamento amortecido observado seja descrito pelas variáveis  $y^{\circ}$  e  $k^{\circ}$ , e o comportamento oscilatório como será demonstrado, pelas variáveis  $y$  e  $k$  e assumindo as seguintes equações diferenciais *lineares*, relacionando estas variáveis:

$$d(y^{\circ}/k^{\circ})/dt = -r.(y^{\circ}/k^{\circ}) \quad \text{Equação (3.3.7.3)}$$

$$ydy = -kdk \quad \text{Equação (3.3.7.4)}$$

A Equação (3.3.7.3) diz simplesmente que o decréscimo de  $(y^{\circ}/k^{\circ})$  no tempo é proporcional a ele próprio. Se  $r$  for igual a zero a grandeza  $(y^{\circ}/k^{\circ})$  é uma constante, dado que sua derivada no tempo é nula. Neste caso, esse sistema é um *sistema hamiltoniano ou conservativo*, e  $y^{\circ}$  crescerá linearmente com  $k^{\circ}$ , garantindo um crescimento no longo prazo. No caso em que  $r$  for negativo, haverá um crescimento explosivo exponencial:

$$y^{\circ} = k^{\circ} \exp(|r|.t)$$

A Equação (3.3.7.4) diz que a variação ponderada de  $y$  (uma das componentes do PIB) é proporcional a  $k$  (um dos componentes do Estoque de Capital), mas com sinal trocado, indicando uma relação de “trade-off”, entre essas duas grandezas.

As soluções das equações (3.3.7.3) e (3.3.7.4) são, respectivamente,

$$y^{\circ}/k^{\circ} = c_1 \cdot \exp(-r.t) = C_1(t) \quad \text{Equação (3.3.7.5)}$$

$$y^2 + k^2 = C_2^2 \quad \text{Equação (3.3.7.6)}$$

ou parametrizando a Equação (3.3.7.6) com a variável tempo:

$$y = |C_2| \cdot \text{sen}(Wt) \quad \text{Equação (3.3.7.7)}$$

$$k = |C_2| \cdot \text{cos}(Wt) \quad \text{Equação (3.3.7.8)}$$

O significado do módulo de  $C_2$  é a amplitude de oscilação, tanto da parcela do PIB, quanto do estoque de capital, responsáveis pelas flutuações. Por simplicidade de notação, quando houver

referência à constante  $C_2$ , deve-se submeter, daqui para frente, ao módulo do mesmo. Quanto ao significado de  $C1(t)$ , é necessário uma análise um pouco mais elaborada. Lembrando que:

$$Y(t)/K(t) = [y^o(t) + y(t)]/[k^o(t) + k(t)]$$

Considere-se duas situações distintas:

1.) Se **não** houver oscilação,  $C_2 = 0$ , portanto a expressão acima se reduz a:

$$Y(t)/K(t) = y^o(t)/k^o(t) = c_1 \cdot \exp(-r \cdot t) = C1(t)$$

Isto é,  $C1(t)$  é simplesmente a produtividade do capital, dependente do tempo. Para sua determinação, é suficiente ajustá-la à série histórica de  $(Y/K)$ , obtendo-se a constante de crescimento ou de decaimento  $r$ .

2.) Se existir oscilação, portanto  $C_2 \neq 0$ . Reescrevendo a expressão  $(Y/K)$  como:

$$Y(t)/K(t) = [C1(t) + y(t)/k^o(t)]/[1 + k(t)/k^o(t)]$$

Como  $y(t)$  e  $k(t)$  são componentes limitadas ao valor máximo da amplitude de oscilação  $C_2$ , e  $k^o(t)$ , por hipótese, é sempre crescente, pode-se concluir da expressão acima, que  $C1(t)$  tende novamente à produtividade do capital  $(Y/K)$ , para  $k^o(t)$ , arbitrariamente maiores que  $C_2$ . Em outras palavras, considerando um período de oscilação,  $C1(t)$  representa a produtividade “média” do capital, sobre este período.

A Equação(3.3.7.5) mostra, portanto, que a relação entre a componente do PIB,  $y^o(t)$  e a componente do Estoque de Capital,  $k^o(t)$ , não é constante, variando de acordo com uma exponencial decrescente de razão  $r$ . Quando  $r$  é muito pequeno tem-se uma solução, anteriormente denominada de *conservativa*:

$$y^o = c_1 \cdot k^o \quad \text{Equação (3.3.7.9)}$$

que implica numa relação, como visto anteriormente, constante no tempo, embora as parcelas, não o sejam, individualmente, garantindo um crescimento no longo prazo.

A Equação (3.3.7.6) mostra também, um comportamento de *sistema conservativo ou hamiltoniano* na quantidade  $(y^2 + k^2)$ , que se conserva no tempo, apresentando uma forma

semelhante ao oscilador harmônico da Mecânica Clássica, no qual o módulo da grandeza  $C_2$  é a amplitude da oscilação de período  $T(=2\pi/W)$  e  $W$  é a frequência de oscilação.

A analogia *newtoniana* pode ser estendida às grandezas macroeconômicas  $k$  e  $y$ , que representam, respectivamente, parcelas já definidas anteriormente, do estoque de capital e do PIB. Uma vez que a quantidade  $(y^2+k^2)$  se conserva no tempo, poder-se-ia associar a grandeza  $k^2$  à energia potencial acumulada no oscilador harmônico e a grandeza  $y^2$ , à sua energia de movimento ou cinética. Dessa forma, um acúmulo de estoque de capital é concomitantemente acompanhado por um equivalente decréscimo do PIB e vice-versa.

Voltando às Equações (3.3.7.2a) e (3.3.7.2b), pode-se escrever a relação (PIB total)/(estoque de capital total) da seguinte forma, utilizando-se as soluções encontradas para  $y^\circ$ ,  $k^\circ$ ,  $y$  e  $k$ :

$$K = k^\circ + k \Rightarrow k^\circ = K - k = K - C_2 \cdot \cos(Wt)$$

$$Y = y^\circ + y = C_1(t) \cdot k^\circ + C_2 \cdot \sin(Wt) = C_1(t) \cdot [K - C_2 \cdot \cos(Wt)] + C_2 \cdot \sin(Wt)$$

portanto:

$$Y(t)/K(t) = C_1(t) \cdot [K(t) - C_2 \cdot \cos W \cdot t]/K(t) + [C_2 \cdot \sin W \cdot t]/K(t) \quad \text{Equação(3.3.7.10)}$$

Utilizando-se os dados históricos para  $Y/K$  e  $K$ , da tabela (3.3.7.1), e as Equações (3.3.7.5) e (3.3.7.10) determinam-se as constantes  $C_2$ ,  $W$ ,  $c_1$  e  $r$ , através de um pacote estatístico [STATISTICA, (1997)], para *ajuste de funções não lineares*. Portanto:

$$C_2 = -816496,627$$

$$W = 2\pi/T = 0,73919827$$

$$T = 8,5 \text{ anos}$$

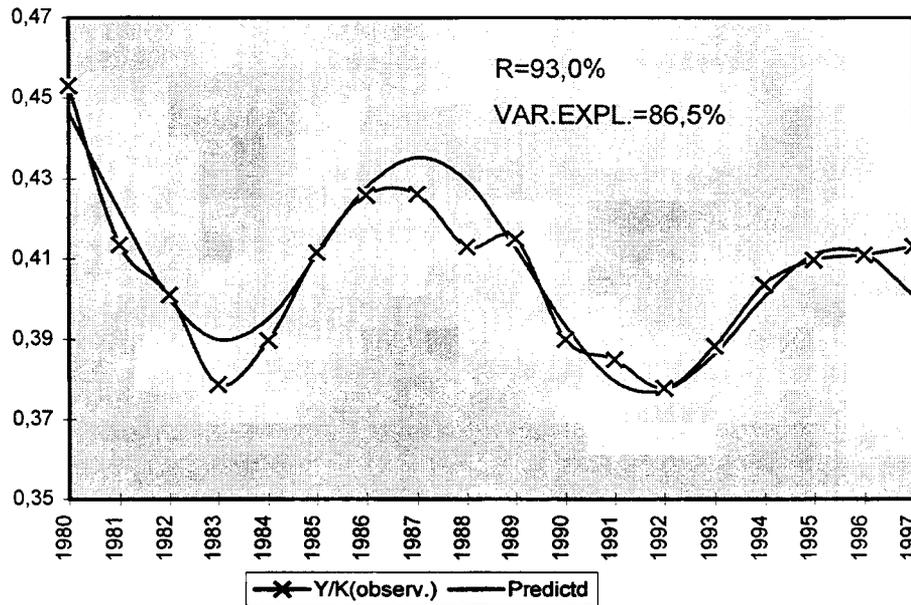
$$\phi = -0,08395983$$

$$C_1(n) = c_{01} \cdot (1 - i)^n = 0,426 \cdot (0,99457549)^n.$$

O gráfico (3.3.7.3) mostra a função  $(Y/K)$  obtida pelo método dos mínimos quadrados, juntamente com os dados históricos da tabela (3.3.7.1). Nesta figura se apresenta a série de 1979 a

1997, cujo ajuste foi usado para obtenção dos parâmetros da Equação (3.3.7.10), na qual existe uma maior aderência do modelo teórico aos dados observados. Como pode ser observado visualmente, o período de oscilação varia, aproximadamente, em torno de 9 anos, o mesmo observado por Juglar a mais de um século.

GRÁFICO (3.3.7.3): Relação capital - produto (Y/K) - Brasil.



Fonte: Tabela (3.3.7.1) e elaboração própria.

Tanto a tabela (3.3.7.3), quanto o gráfico (3.3.7.4) mostram a boa aderência dos resultados do modelo empírico, aos dados observados nos últimos dezoito anos, mostrando que cerca de 72% das observações “históricas” estão na faixa de  $\pm 1,5\%$  de variação, subindo para cerca de 83%, na faixa de  $\pm 2,5\%$  de variação, em torno da solução da Equação (3.3.7.10).

TABELA (3.3.7.3): Número de ocorrências nos intervalos ao redor do empírico.

PERÍODO DE 1980 A 1997		
FAIXA(+)(%)	ptos na faixa	(%) dentro
0,5	6	33
1	10	56
1,5	13	72
2	13	72
2,5	15	83
3	16	89
3,5	17	94
4	18	100

Fonte: Elaboração própria

GRÁFICO (3.3.7.4): Percentual de ocorrências nos intervalos ao redor do empírico.

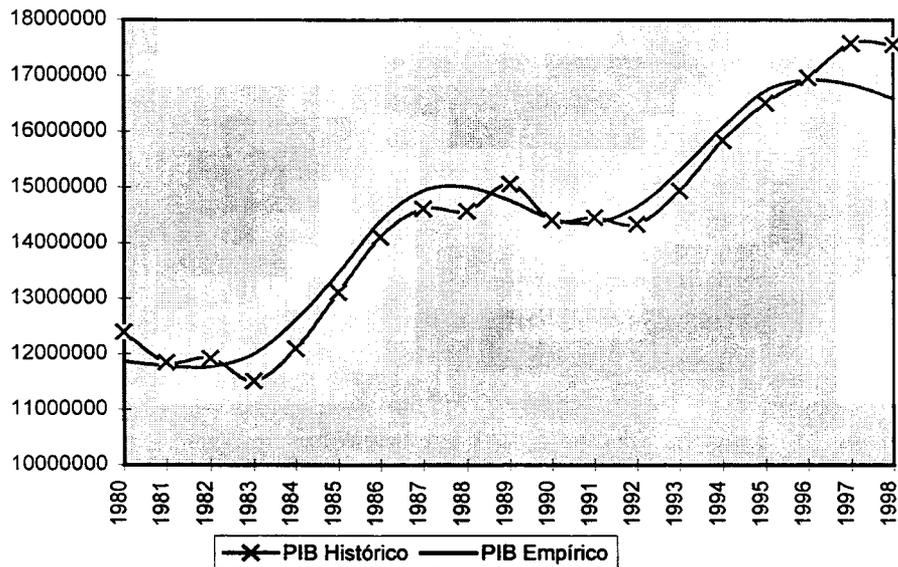


Fonte: Tabela (3.3.7.3).

O gráfico (3.3.7.5) mostra o PIB obtido empiricamente, bem como o observado historicamente, para os anos de 1980 a 1998. Nota-se, novamente, o *alongamento* (aumento do período) da oscilação, correspondente ao interregno 1988-1997, em relação ao interregno 1981-1987. No primeiro interregno, a FBCF foi em média igual 18,01% do PIB, enquanto que no segundo, esse valor cai para 15,80% do PIB, a preços constantes. Este fato já foi anteriormente apontado e está de acordo com os resultados obtidos pela teoria construída na seção anterior.

Entretanto, isto significa que o modelo empírico construído deveria considerar a frequência variável com a FBCF, nas funções trigonométricas, ao invés de constantes, como foi assumida.

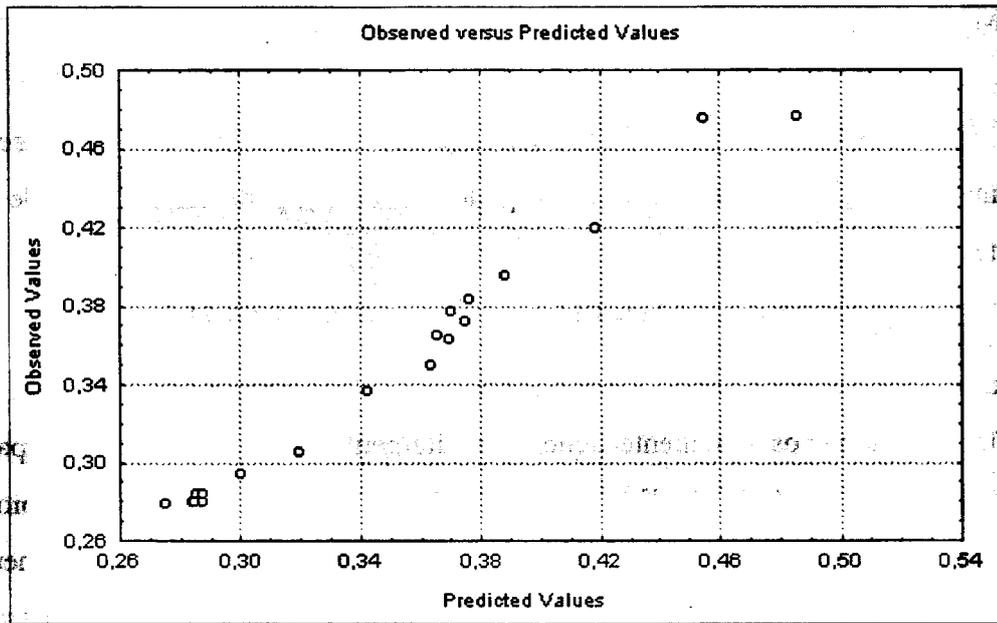
GRÁFICO (3.3.7.5), PIB histórico e empírico em  $10^3$  Cruzados constantes de 1980.



Fonte: IBGE e elaboração própria.

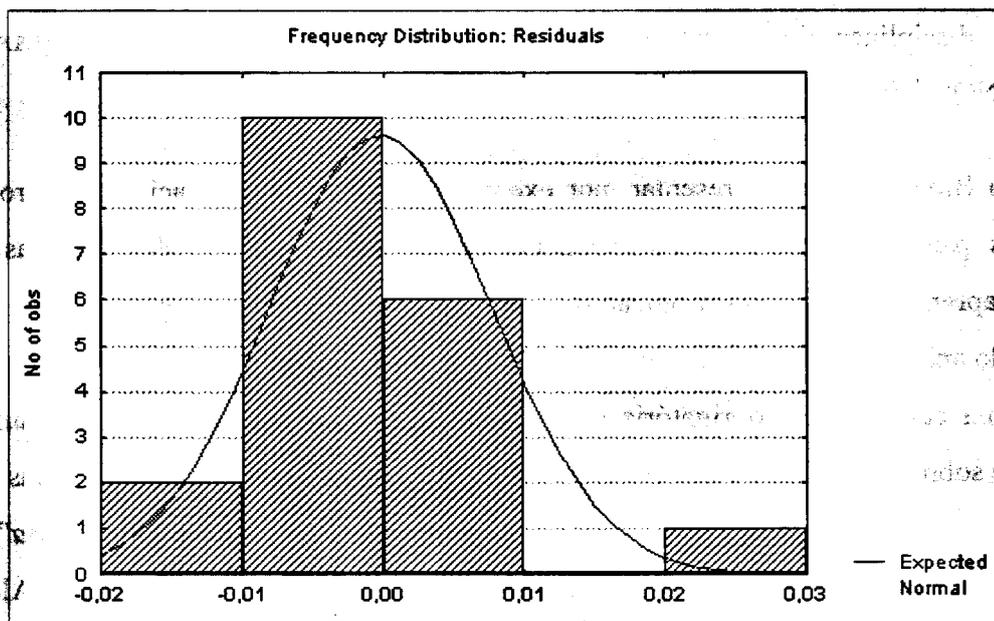
Os gráficos (3.3.7.6) e (3.3.7.7) indicam também, o grau de aderência do *modelo empírico* aos dados históricos, através de parâmetros estatísticos do ajuste não linear, além daqueles já mostrados, usando-se o pacote [STATISTICA, (1997)].

GRÁFICO (3.3.7.6): Valores históricos em função dos valores empíricos.



Fonte: Elaboração própria.

GRÁFICO (3.3.7.7): Distribuição de freqüências dos resíduos.



Fonte: Elaboração própria.

### 3.3.8. A EQUAÇÃO DE DIFERENÇAS LOGÍSTICA NA INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PIB/ ESTOQUE DE CAPITAL.

A Equação (3.3.7.1), que define o Estoque de capital, como função de seu valor no período anterior (t-1), mais o Investimento líquido no ano (t), pode ser reescrita de uma forma equivalente a:

$$K(t+1) = F[K(t)] \quad \text{Equação (3.3.8.1)}$$

Existem muitos fenômenos naturais, que podem ser representados dessa forma, aliás, poucos são os fenômenos - somente aqueles estritamente aleatórios - que escapam de uma representação como esta. A função  $F[K]$  é uma função que os biólogos chamaram pioneiramente de “*dependente da densidade*”, e os matemáticos chamam de função não-linear. Genericamente a equação acima é uma equação de diferenças não linear de primeira ordem. Essa forma de representação funcional, reproduz matematicamente, fenômenos nos mais diversos campos do conhecimento, além da Biologia, qual seja, da Economia, da Física, da Engenharia, da Psicologia e até de disciplinas ditas “modernas”, como a Dinâmica Sócio-Espacial [MAY (1976); DENDRINOS (1990); CLARK (1990); PEITGEN (1992)].

Na Biologia, para representar, por exemplo, a dinâmica populacional, a propagação de epidemias, para representar as mudanças genéticas no tempo e outros. Nas Ciências Sociais, na teoria do aprendizado, onde essa função representa o número de bits de informação, que pode ser lembrado após um intervalo de tempo.

Uma característica obrigatória da variável  $K$ , na Eq.(3.3.8.1), caso contrário não terá chance de sobrevivência nos casos mencionados, seja nas Ciências Naturais, seja nas Sociais, é a tendência da variável  $K$  *crescer* de uma geração à outra, quando ela é “*pequena*” e *diminuir* quando ela é “*grande*”, relativamente às dimensões do sistema em consideração. Além disso, a função não linear  $F[K]$  tem, frequentemente, as seguintes propriedades:

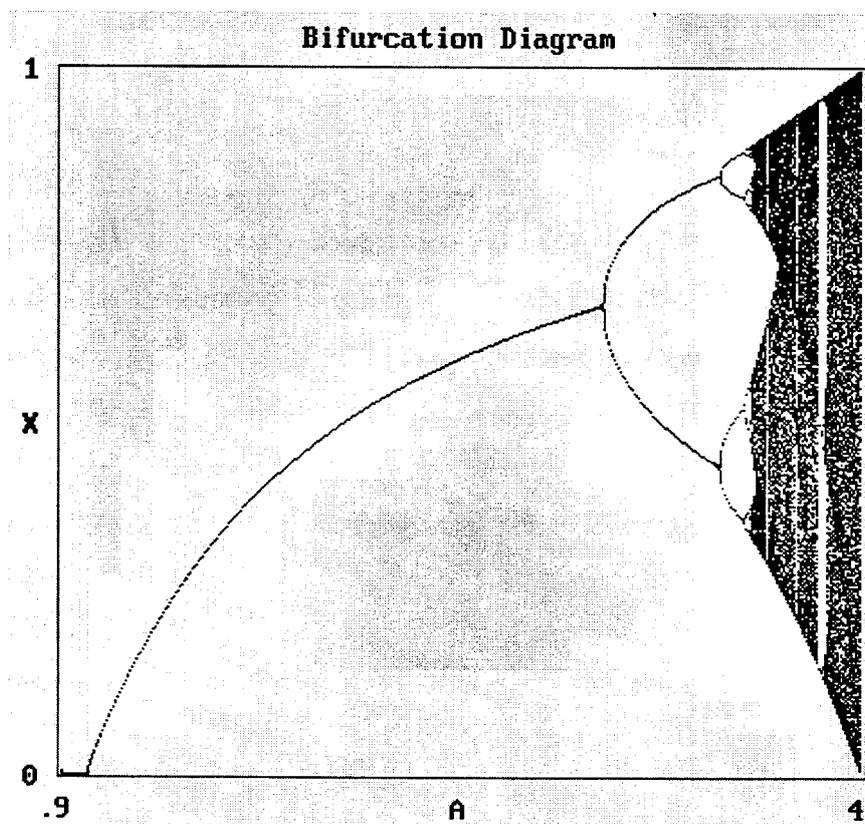
$$F[0] = 0$$

$F[K]$ , cresce monotonicamente com  $K$ , no intervalo  $[0 < K < a]$  e  $F[K]$  assumindo seu máximo

quando  $K=a$ .

e  $F[K]$  decresce monotonicamente nos intervalos de  $K$  maiores do que  $a$  ( $K>a$ ).

GRÁFICO (3.3.8.1): Diagrama de bifurcação no modelo logístico discreto.



Fonte: [SPROTT, (1995)]

Em geral, a função  $F[K]$  contém um ou mais parâmetros, que “suavizam” o comportamento não linear, geralmente radical e explosivo. Tais parâmetros, em geral, têm algum significado estrutural nos vários campos, nos quais essa equação é aplicada, seja na economia, biologia, física ou outras. Uma particular forma funcional para  $F[K]$ , frequentemente aplicada e estudada, em vários campos, dada sua elegância e simplicidade é:

$$K(t+1) = K(t) \cdot [a - b \cdot K(t)] \quad \text{Equação (3.3.8.2)}$$

A Eq(3.3.8.2) é chamada de equação “logística” de diferenças. No limite de  $b=0$ , ela descreve a conhecida função exponencial pura, crescente ou decrescente, dependendo do valor de

$a$  ( $>1$  ou  $<1$ , mas *sempre*  $>0$ ). Se  $b \neq 0$ , a não linearidade quadrática produz uma curva, inicialmente crescente, para em seguida decrescer, a partir de um dado valor de  $K(t)$ , mostrando uma “corcova”, cuja intensidade vai depender do valor de  $a$ . Escrevendo  $X = b.K/a$ , a Eq.(3.3.8.2), pode ser escrita na sua forma canônica, usualmente utilizada:

$$X(t+1) = a.X(t).[1-X(t)] \quad \text{Equação (3.3.8.3)}$$

A aparente simplicidade funcional dessa equação oculta uma grande complexidade e variedade de comportamento, que somente uma análise mais acurada pode demonstrar e, exemplifica um dos mais gerais e conhecidos “casos” de sistemas, onde convivem possibilidades de estados “comportados”, tendendo ao equilíbrio, bem como estados caóticos dinamicamente imprevisíveis, encontrados na literatura [MAY, (1976)]. Ela descreve uma enorme gama de sistemas biológicos, físicos, químicos e eventualmente econômicos, nos quais o valor da quantidade  $X(t+1)$ , depende do valor de  $a$ , de seu valor anterior e da “distância” que este se encontra da *unidade*, que através de uma transformação de variáveis, representa um valor “escolhido” ou de “equilíbrio” de  $X$ .

Esse comportamento faz lembrar, de imediato, toda a dinâmica observada nos sistemas sócio-econômicos, em particular na Economia, onde as variáveis associadas à macroeconomia apresentam, salvo exceções pontuais, aspectos de sistemas com elevado grau de auto-organização, qual seja, aqueles da “busca” do estado “alvo” e, conseqüentemente, da fuga do estado de “colapso”, em permanente tendência à *homeostase*, como foi exaustivamente discutido no decorrer de todo esse trabalho.

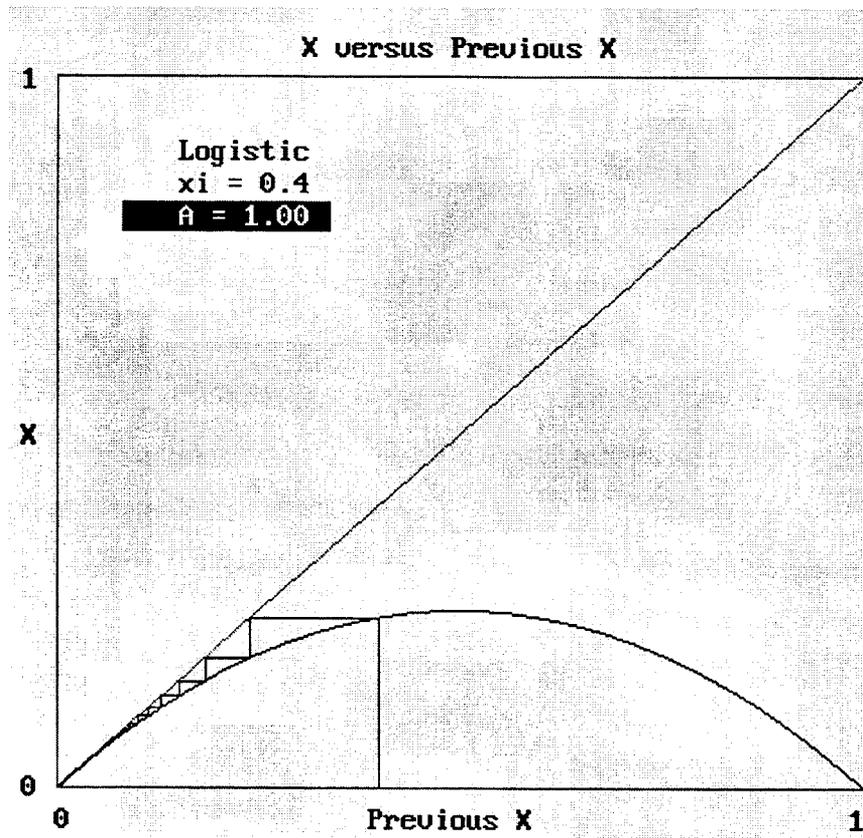
Dependendo do valor de  $a$ , tem-se diferentes comportamentos dinâmicos para  $X(t)$ , os quais são resumidos a seguir:

TABELA (3.3.8.1): Comportamento da função  $X(t)$  em função de  $a$ :

- Para  $a \leq 1$ , qualquer que seja o valor inicial  $X_n$ , o valor resultante de  $X_{n+1}$  convergirá para um *ponto de equilíbrio estável* igual a zero.
- Para  $1 < a < 3$ , o mapeamento leva também, para um outro ponto de *equilíbrio estável*, diferente de zero, qualquer que seja o valor inicial de  $X_n$ .
- Para  $a = 3,0$ , tem início comportamento instável.
- Para  $3 < a < 3,57$ , observa-se dois pontos de equilíbrio sobre a reta  $y=x$ , caracterizando uma bifurcação e comportamento periódico com período igual a 2.
- Para  $a = 3,57$ , tem início região “caótica”, ocorrendo também soluções “ordenadas”, com padrões definidos.
- Para  $a = 3,8$ , órbitas não periódicas, com ocorrência de janelas de periodicidade.
- Ciclos c/ período 3 aparece em  $a = 3,8284$ .
- Fim da região “caótica” em  $a = 4,0000$ .

O gráfico (3.3.8.1) mostra os valores *fnais de equilíbrio* de  $X$ , após várias iterações, em função dos valores de  $a$ . Vale ressaltar que para valores de  $a$  abaixo de 1, o valor de equilíbrio para  $X$  será igual a **zero**, tendência essa manifestada pela análise da série histórica do PIB/Estoque de Capital, para o caso brasileiro, como será mostrado. E os gráficos (3.3.8.2) a (3.3.8.5), apresentados na seqüência mostram também, os diferentes comportamentos associados aos valores de  $a$  e apontados na tabela (3.3.8.1):

GRÁFICO (3.3.8.2): Modelo logístico discreto para  $a=1$ .



Fonte: [SPROTT, (1995)]

GRÁFICO (3.3.8.3): Modelo logístico discreto para  $a=1,3$ .

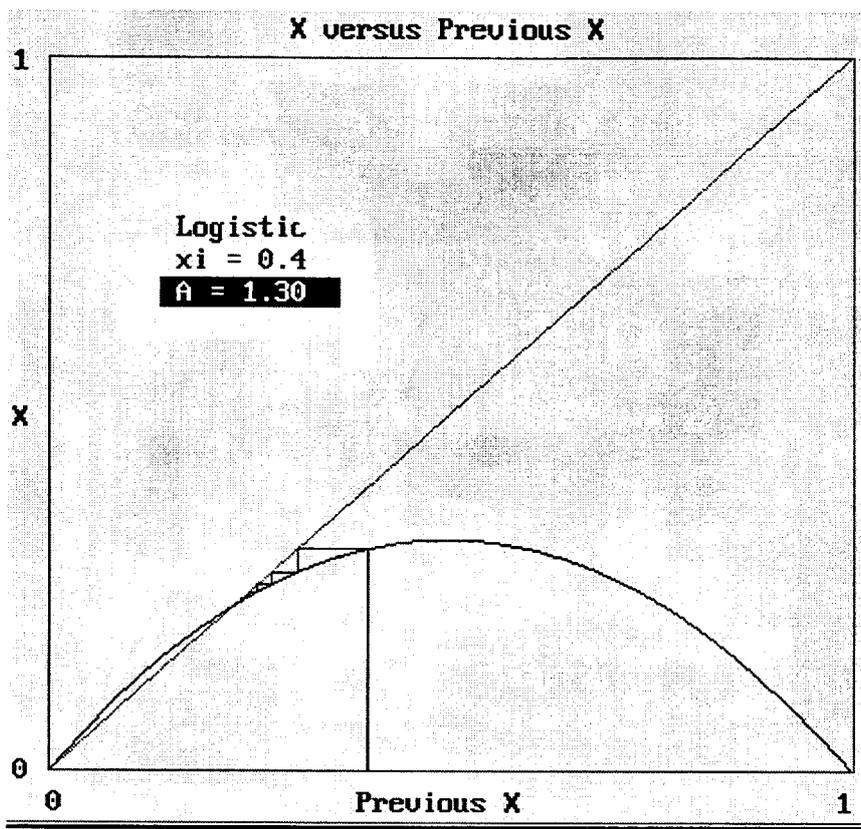
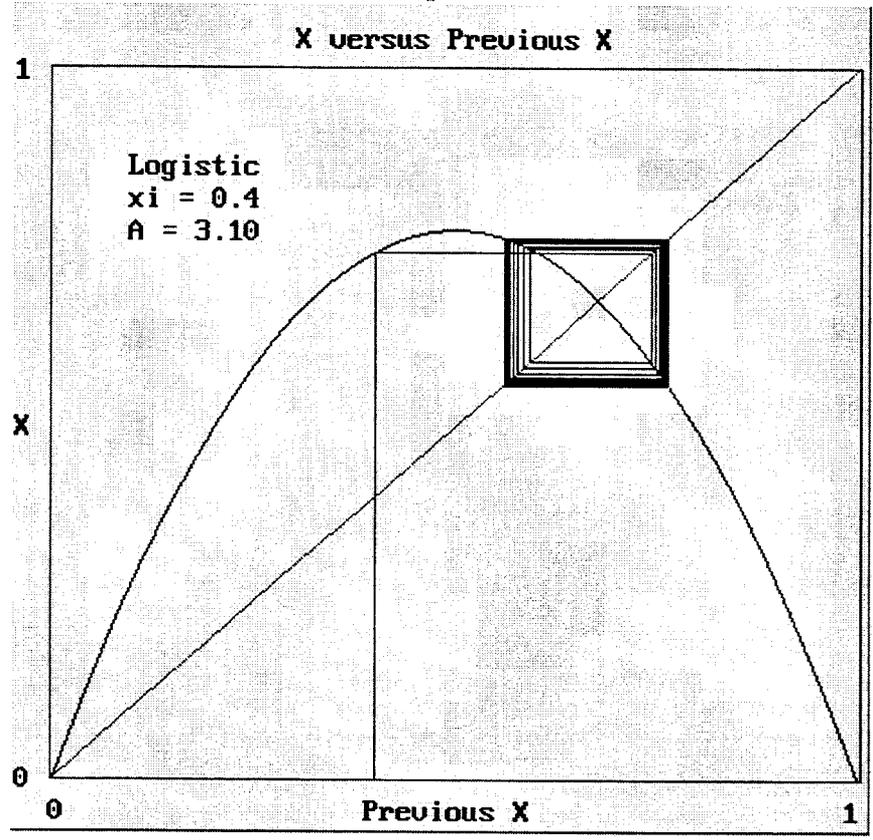
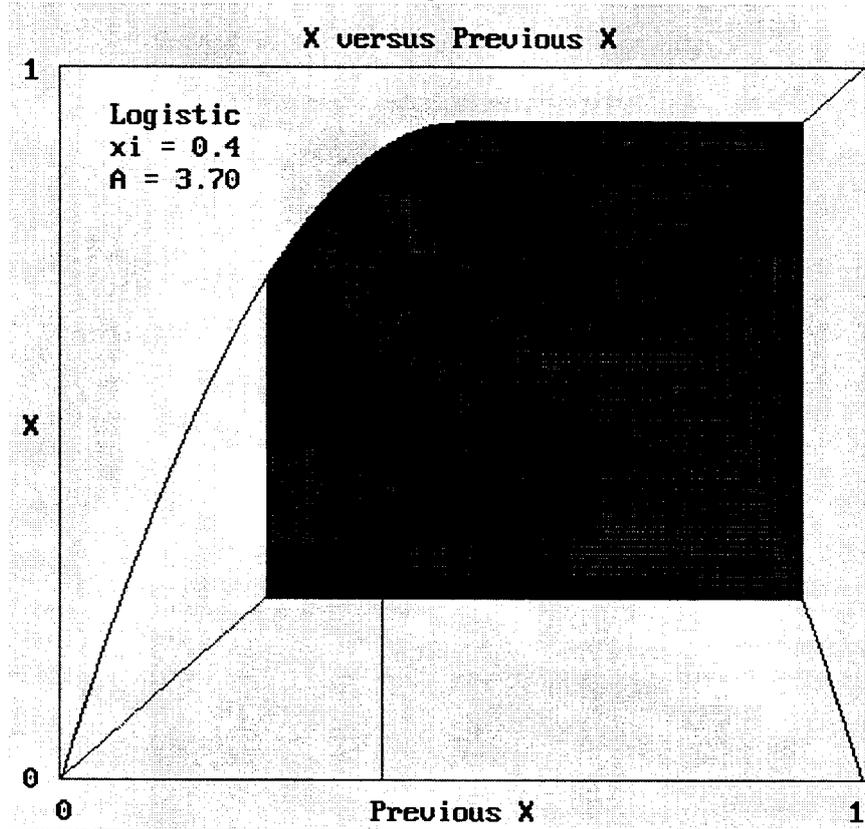


GRÁFICO (3.3.8.4): Modelo logístico discreto para  $a=3,1$ .



Fonte: [SPROTT, (1995)]

GRÁFICO (3.3.8.5): Modelo logístico discreto para  $a=3,7$ .



Fonte: [SPROTT, (1995)]

Voltando ao problema econômico inicial, isto é, ao estudo do comportamento da série, cujos elementos são relações entre o PIB e o estoque de capital, pode-se afirmar que a formação dos valores da função  $(Y/K)_t = Z_t$ , não acontece ao acaso, aleatoriamente, como já foi exaustivamente discutido, no decorrer deste trabalho, mas ocorre, indubitavelmente, com forte dependência de  $(Y/K)_{t-1}$ . Portanto, dado dois valores adjacentes da série  $(Y/K)$ , é sempre possível definir um valor de  $r$ , tal que:

$$(Z_{t+1} - Z_t)/Z_t = r.(Z_{lim} - Z_t)/Z_{lim} \quad \text{Equação(3.3.8.4)}$$

ou seja, a “distância” relativa, entre estes dois valores adjacentes de  $Z$ , é proporcional à “distância”, também relativa, entre o valor de  $Z$ , no tempo  $t$  e um valor máximo, chamado valor limite,  $Z_{lim}$ . Este valor limite está associado às “características” do sistema econômico e é por este definido. Pela equação acima, observa-se que, para um valor arbitrariamente elevado de  $Z_{lim}$ , ter-

se-á a situação, na qual a produtividade do capital cresce exponencialmente, com razão  $r$ . Este valor  $Z_{lim}$  está associado ao *estoque desejado de capital*, aquele que as empresas, como um todo, escolheram ter como “alvo”, abstraindo-se dos atrasos que elas enfrentam no ajuste do seu uso de capital, no sentido encontrado e discutido em [DORNBUSCH e FISCHER, (1992)]. O ajustamento na direção do estoque “desejado” de capital é realizado através da taxa de investimento, o qual só será efetivado quando o produto marginal do capital for favoravelmente comparável ao custo de utilização do capital, que por sua vez é medido pela taxa de juros da economia. Isto significa que este ajustamento não será, obrigatoriamente, atingido, mas dependerá do parâmetro  $r$ , que traduz a capacidade e a “vontade” do sistema econômico de atingir tal “alvo”.

A Equação (3.3.8.4) pode ser então, reescrita na forma da Equação (3.3.8.3), através da mudança de variáveis:

$$\begin{aligned} X_t &= r \cdot Z_t / (1+r) & e \\ a &= (1+r) & \text{Equações (3.3.8.5)} \end{aligned}$$

uma vez que a estabilidade da Equação (3.3.8.3), foi acima estudada em função do parâmetro  $a$ . A tabela (3.3.8.2) abaixo fornece os dados da série histórica PIB/Estoque de Capital utilizados na montagem dos gráficos.

TABELA (3.3.8.2): Relação produto/capital no Brasil, a preços constantes (Cz\$ de 1980).

ANO	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Y/K	0,38800295	0,41203712	0,43536756	0,46190071	0,46277192	0,4494537	0,45811425	0,44913728	0,44134739	0,44252946
ANO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Y/K	0,45312769	0,41353896	0,4010936	0,37878258	0,38978272	0,41163946	0,42596138	0,42617992	0,41299617	0,41503736
ANO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997		
Y/K	0,38993627	0,38495856	0,3778695	0,38840678	0,40366596	0,40973225	0,41102559	0,41310687		

Fonte: tabela (3.3.7.1).

A seguir serão apresentados os gráficos, com diferentes valores de  $(Y/K)_{lim}$ , nos quais a ordenada representa os valores de  $a$ , obtidos, cada qual, de pares de valores adjacentes de  $(Y/K)$ , para os vários anos, que compõem a série histórica existente. Este procedimento tem por objetivo analisar qual tem sido o comportamento econômico, sob essa ótica, lembrando que, dependendo dos valores de  $a$ , o sistema tenderia a ter diferentes comportamentos, desde o estático, passando por eventuais pontos múltiplos de equilíbrio e até mesmo o estado caótico, no qual a

imprevisibilidade é total. Um valor único de  $a$ , significaria que a série histórica de  $(Y/K)$  poderia ser, toda ela, *rigorosamente* representada por uma única equação, na forma da equação (3.3.8.3), que como foi visto, representa um sistema com as propriedades apontadas na tabela (3.3.8.1).

GRÁFICO (3.3.8.6): Valores de  $a$  para  $(Y/K)_{lim} = 0,35$ .

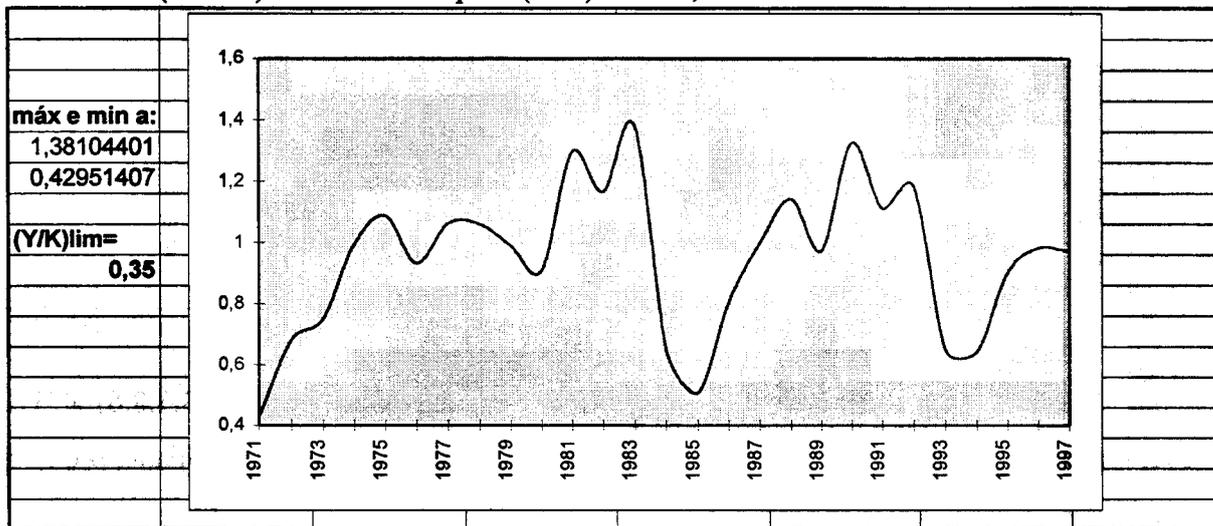


GRÁFICO (3.3.8.7): Valores de  $a$  para  $(Y/K)_{lim} = 0,25$ .

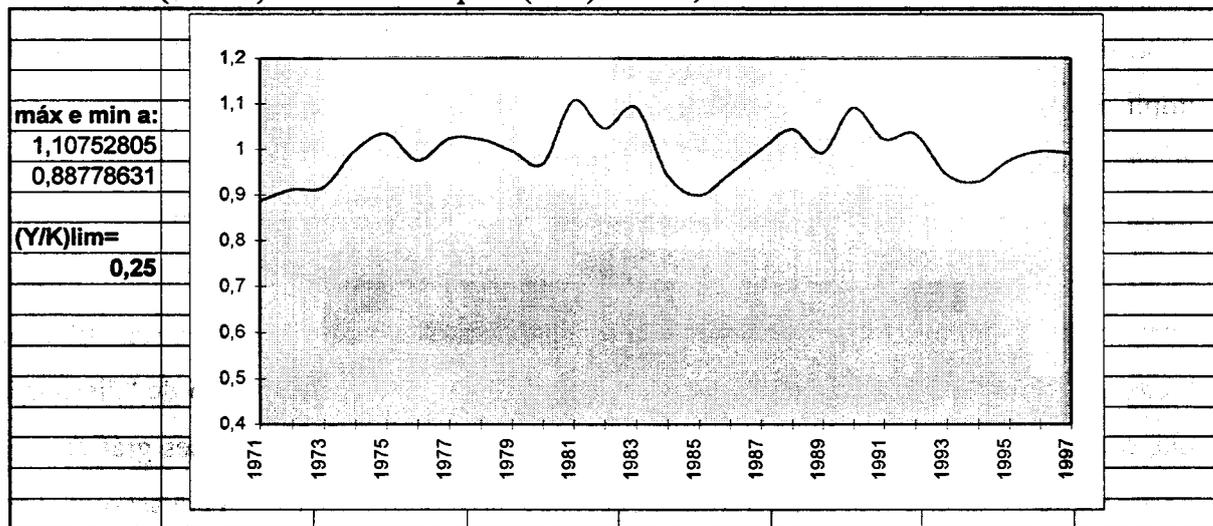
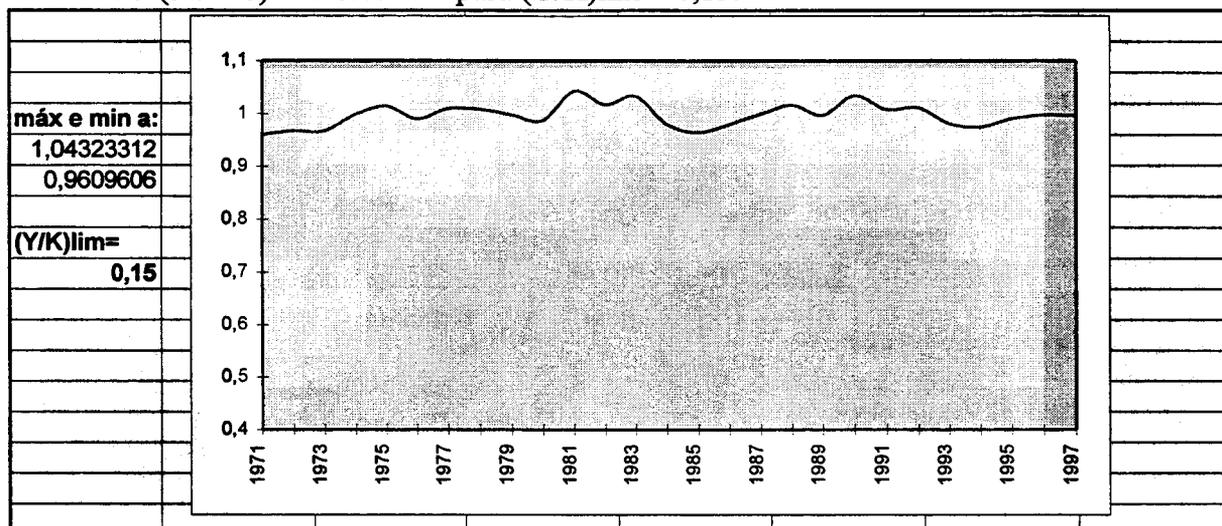


GRÁFICO (3.3.8.8): Valores de  $a$  para  $(Y/K)_{lim} = 0,15$ .



Fonte: tabela (3.3.8.2) e elaboração própria.

O que se nota pelas simulações, representadas pelos gráficos (3.3.8.6) a (3.3.8.8) é que, qualquer que seja o valor de  $Z_{lim}$ , os valores de  $a$  oscilam em torno da unidade, procurando se estabilizar em torno deste valor e, também, se observa que, quanto *menor* for o valor de  $Z_{lim}$ , ou seja, quanto *menor* a produtividade limite do capital, mais próximo da unidade ficam os valores de  $a$ , implicando esse fato, numa forte propensão do sistema a acumular cada vez mais capital, implicando, como “alvo” para a relação  $(Y/K)$ , um valor cada vez menor. Isso representaria um sistema a uma distância prudente do comportamento “caótico”, de acordo com as propriedades da tabela (3.3.8.1) e do gráfico (3.3.8.2), mas que com isso tenderia perigosamente ao ponto fixo de equilíbrio estático,  $(Y/K) = zero$ , significando a inviabilização do sistema. Quando o valor de  $a$ , num determinado ano, “foge” para cima da unidade, observa-se que nos anos seguintes ocorre o “retorno”, como se o sistema utilizasse, para esse fim, ou algum mecanismo de “dissipação”, ou que o sistema não foi capaz de sustentar aquele estado de crescimento. Esses gráficos mostram portanto, que a série histórica de  $Y/K$  seria perfeitamente descrita por uma equação de diferenças do tipo logística, exatamente como a Equação (3.3.8.3), se o valor “procurado” pelo sistema, ou o “equilíbrio” no longo prazo de  $Y/K$  estiver próximo de zero.

Isso lembra de imediato e de maneira indiscutível antigas advertências da conhecida *escola estruturalista da CEPAL*, cujas teses centrais eram personificadas por economistas como

Celso Furtado e Felipe Herrera [FURTADO, (1974)], que defendiam a necessidade de se promover a industrialização da América Latina e a diversificação geral de sua estrutura produtiva. Nesse sentido, propuseram medidas para uma melhor distribuição da renda, reorganização administrativa e fiscal, planejamento econômico, reforma agrária e formas de colaboração entre países para superar as deficiências concorrenciais no mercado internacional, contribuindo para a formação da ALALC - Associação Latino-Americana de Livre Comércio. Essas recomendações podem ser entendidas no modelo matemático em análise, como sendo medidas para elevar a “corcova” da curva logística acima da reta de 45°, ou em outras palavras, aumentar o valor do parâmetro  $a$ , na equação (3.3.8.3) e gráfico (3.3.8.3), de forma a proporcionar ao sistema, outro ponto de equilíbrio, diferente da tendência ao colapso e à estagnação econômica, manifestada pela série histórica.

Finalizando essa seção, apresenta-se uma outra maneira, usualmente utilizada de se analisar o grau de “caoticidade” de um sistema dinâmico, qual seja, através da análise do chamado *expoente de Lyapunov*. Considere-se a função não linear:

$$X_{n+1} = f(X_n)$$

e pontos arbitrariamente próximos ( $X_n + \delta X_n$ ), em torno dos quais se faz uma expansão de Taylor:

$$\delta X_{n+1} = (df/dX) \cdot \delta X_n + \dots$$

Define-se o número de Lyapunov como:

$$e^\lambda = |\delta X_{n+1} / \delta X_n| = |df/dX|$$

e o expoente de Lyapunov  $\lambda$ , como:

$$\lambda = \log |df/dX| \quad \text{Equação (3.3.8.6)}$$

O sinal de  $\lambda$  fornece o grau de “caoticidade” desse sistema. Assim:

- Se  $\lambda$  for **negativo**, a solução tende para um ponto fixo ou órbita estável periódica. Expoentes de Lyapunov negativos são característicos em sistemas dissipativos ou não-conservativos, como o oscilador harmônico amortecido ou o sistema econômico analisado anteriormente. Tais sistemas exibem a chamada estabilidade assintótica e quanto mais negativo

for o expoente, maior a estabilidade. Pontos fixos e pontos periódicos superestáveis têm expoentes de Lyapunov =  $-\infty$ .

- Se  $\lambda$  for nulo, a órbita é um ponto fixo neutro, ou órbita circular, indicando que o sistema está em algum tipo de estado estacionário. Um sistema físico com esse valor de expoente é um sistema conservativo, como por exemplo, dois osciladores harmônicos simples, com amplitudes diferentes acoplados. A configuração desse sistema no espaço de fase será duas circunferências concêntricas.

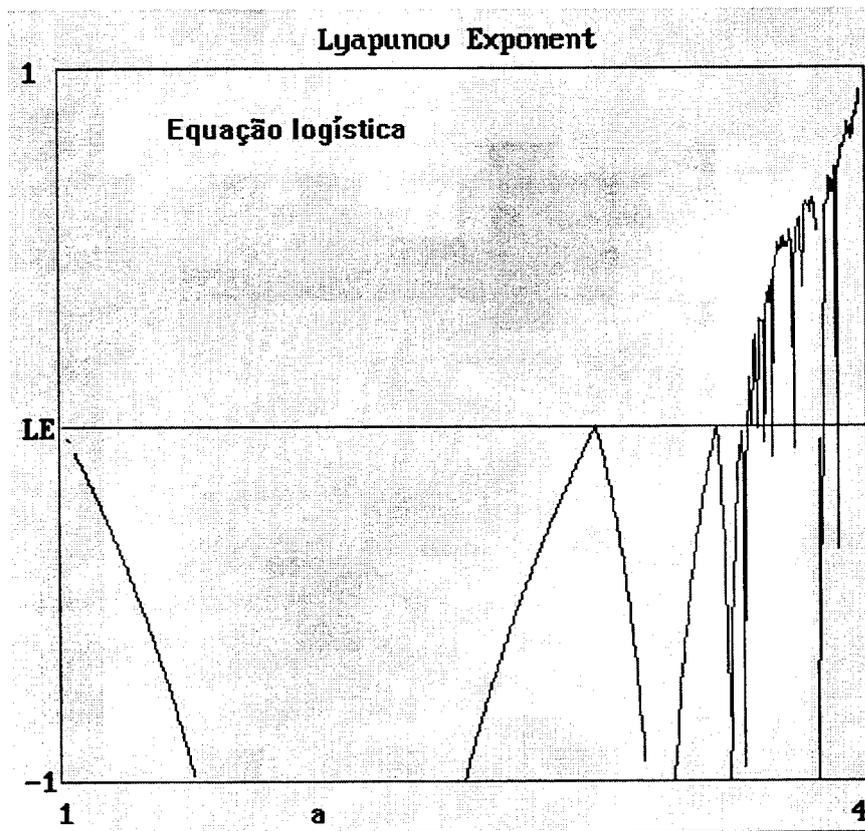
- Se  $\lambda$  for positivo, a órbita é instável e caótica. Pontos arbitrariamente próximos, divergirão exponencialmente no tempo, independentemente de quão próximos estejam inicialmente, embora todos os pontos vizinhos no espaço de fase possam ser visitados em algum instante. Para um sistema discreto, como a equação logística, essa região se assemelha a uma tempestade de neve ou o chuveiro de uma tela de televisão, como pode ser observado no gráfico (3.3.8.1).

Uma vez que  $df/dX$  é normalmente não constante, o procedimento usual é se calcular uma média de  $\langle \log |df/dX| \rangle$  sobre várias iterações. No caso da equação logística,

$$df/dX = a(1-2X), \text{ portanto,} \\ \lambda(a) = \log |df/dX| = \log |a(1-2X)| \quad \text{Equação (3.3.8.7)}$$

O gráfico (3.3.8.9) mostra os valores do expoente de Lyapunov  $\lambda(a)$ , como função de  $a$  e as respectivas regiões, nos quais o sistema logístico tem os comportamentos descritos acima, dependendo do sinal de  $\lambda(a)$ .

GRÁFICO (3.3.8.9): Expoentes de Lyapunov, para a equação logística.



Fonte: [SPROTT, 1995]

## Capítulo 4: Resultados e Discussões.

*“Prefiro avançar, mesmo rápido, correndo o risco de cair, deixando algumas debilidades - quem não as deixa, em algum momento, mesmo entre aqueles que procuram assegurar-se ao máximo? - prefiro a invenção acompanhada do risco de erro à certeza rigorosa, paralela ao risco de imobilidade. Em filosofia como na vida; na vida como nas ciências.”*  
Michel Serres, em *Luzes* [SERRES M., p. 172, (1999)]

### 4.1. O MODELO PRESA - PREDADOR DISCRETIZADO NO TEMPO.

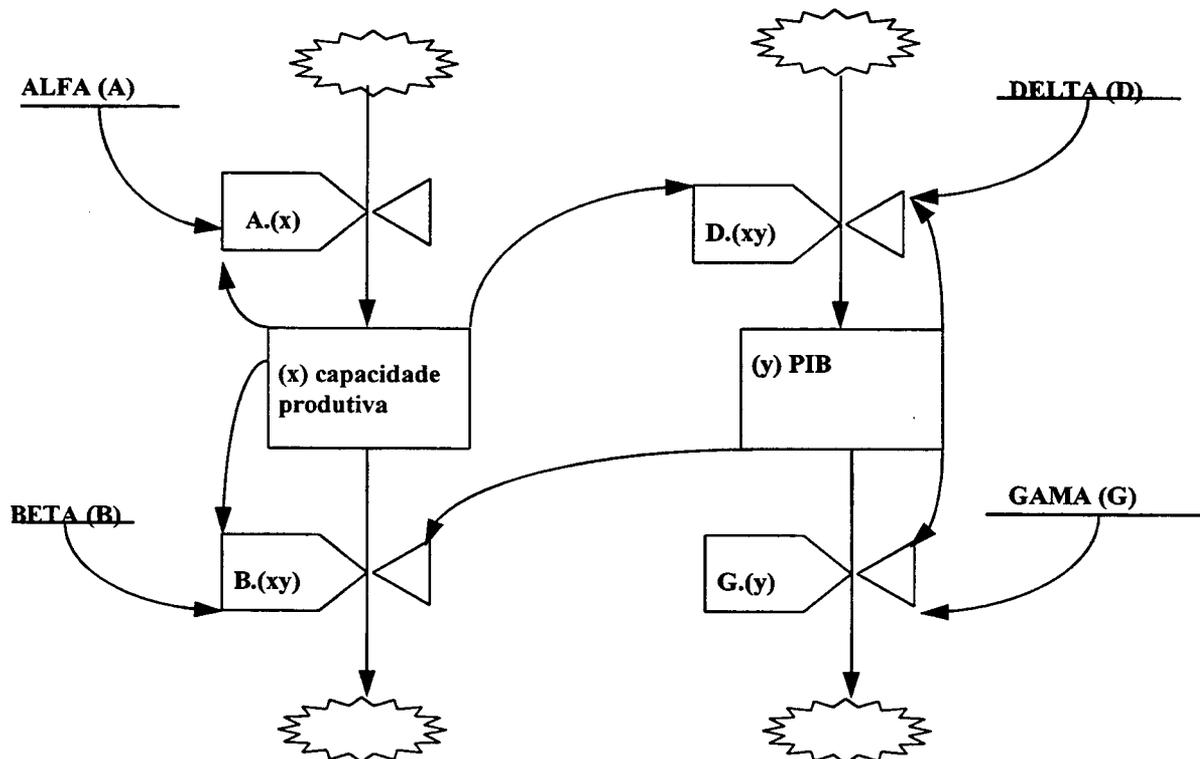
Existem muitas maneiras de se abordar e estudar numericamente um sistema de equações diferenciais não lineares. Uma das formas, que se destaca pela sua didática, é a metodologia desenvolvida e aplicada por Jay Forrester, desde a década de cinquenta, conhecida como *System Dynamics* - SD -[FORRESTER, (1961), (1964), (1968)]. É uma linguagem computacional, especialmente desenvolvida, para tratar de sistemas dinâmicos, nos quais existem múltiplas interações entre as variáveis componentes, permitindo a representação de fenômenos de realimentação, mais conhecidos como de “feed-back”, cuja aplicação mais célebre foi aquela patrocinada pelo Clube de Roma, o *Limites do Crescimento* [MEADOWS, (1973)]. As décadas de sessenta e a de setenta foram pródigas na produção de trabalhos utilizando essa metodologia, destacando-se os ligados ao meio ambiente e ao estudo de sistemas dinâmicos sociais, físicos e biológicos [MEADOWS, (1972)], [COYLE,(1978)], incluindo um estudo sobre a dinâmica da utilização do carvão vapor, feita por este autor [KAMIMURA, (1979)]. Aplicações mais recentes usando essa metodologia estão reportados em [RUTH, (1994)] e [TVEDE, (1997)]. O desdobramento dessas aplicações levou à sua nova formulação. Nessa esteira surge a série denominada STELLA, cuja característica principal foi a de incorporar inovações de ordem computacional, facilitando sobremaneira a sua utilização. Com isso, e com a demanda emergencial dos apelos da atual política econômica, posta em prática internacionalmente, esse programa computacional facilita e aumenta a capacidade de entendimento de interrelações dinâmicas em sistemas complexos. Além disso, esse programa computacional permite ao seu usuário transformar um determinado problema mental, formalizando - o quantitativamente

através de relações entre as variáveis supostamente participantes desse problema. Questões do tipo “*What if ...*” podem ser testadas e respostas ainda em suposições ocultas podem então emergir da estrutura do modelo. A linguagem computacional utilizada, mediante a construção de blocos, permite traçar, por exemplo, um mapa e modelar o sistema de interesse. Esse programa computacional tem a vantagem de criar automaticamente o sistema de equações necessários para simular o modelo de acordo com o diagrama constituído. Uma vez construído o modelo, as simulações proporcionam a oportunidade de testar a teoria subjacente; observar resultados e *modificar as suposições durante a simulação*, permitindo aumentar a compreensão do funcionamento real e como fazer para melhorá-los. Aliás, essa é a principal vantagem desse método, em relação à discretização de Heun, descrita na seção (3.3.6), na qual, uma vez estabelecidas as condições do problema, não se pode mais modificá-las, durante uma mesma simulação.

Apesar de o STELLA Research versão 5 encontrar-se disponível, a aplicação do modelo, neste caso, foi uma versão bastante antiga para o sistema DOS, conhecida por *Dynamo*. O diagrama SD da figura (4.1.1) mostra, na simbologia do *Dynamo*, como se dá a interação entre a capacidade produtiva (CAP) e a renda (PIB), no sistema definido pelas equações diferenciais não lineares (3.3.6.1) e (3.3.6.2).

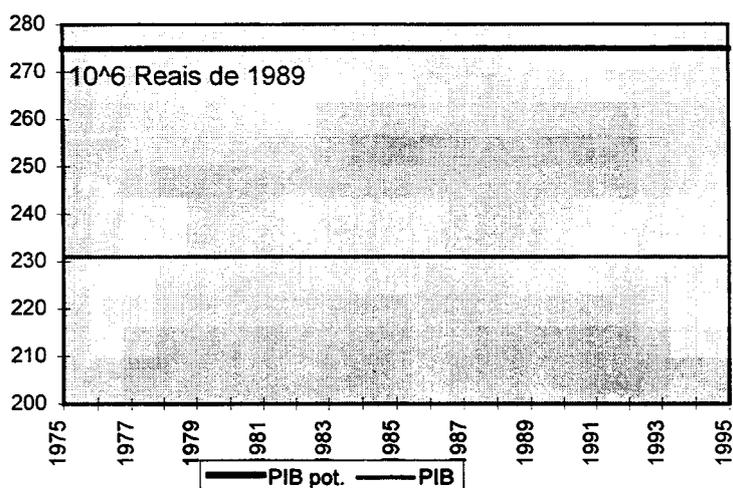
Este diagrama é uma representação visual das equações de diferença (3.3.6.1-d) e (3.3.6.2-d), definidas na seção (3.3.6). Dessa forma, tanto a capacidade produtiva ou PIB potencial ( $x$ ), quanto o PIB ( $y$ ), são equações de “estoque”, isto é, como reservatórios, eles assumem um valor no instante ( $t$ ), que é igual ao seu valor no instante anterior ( $t-1$ ), mais o acréscimo no tempo ( $t$ ). Esse acréscimo é devido ao investimento líquido  $[(\alpha.x) - (\beta.x.y)]$ , no caso da capacidade produtiva e, igual a  $[(-\gamma.y) + \delta.x.y]$ , para o PIB. Foi assumido, neste caso numérico, em estudo, que a constante  $\mu$  da depreciação (termo só dependente de  $K$ ) é pequena e, portanto, os dois termos do acréscimo à capacidade produtiva, representam, respectivamente, o *investimento bruto* ( $\alpha.x$ ) e a *depreciação* ( $\beta.x.y$ ).

FIGURA (4.1.1): Diagrama SD para o sistema *presa-predador*: (CAP) e (PIB):



Assume-se, também que todo o investimento líquido é adicionado à capacidade produtiva. Quanto ao PIB, o acréscimo vem do termo  $(\delta \cdot x \cdot y)$  e o decréscimo  $(-\gamma y)$  deve ser tal que, ao fim de cada ano ele deve ser praticamente zerado, para dar início à produção do ano seguinte, como já foi explicado na seção (3.3.6). Isso implica que o valor de  $\gamma = 1$ , nesta simulação numérica, na qual intervalo de tempo é igual a um ano. O gráfico (4.1.1) mostra as variáveis de interesse  $x$  e  $y$ , dadas as condições iniciais, tais que, elas permanecem, estaticamente, em equilíbrio nos pontos  $(x, y) = (\gamma/\delta, \alpha/\beta)$ . Isso acontece, desde que  $x_{(0)} = 275$ ,  $y_{(0)} = 231$ , ambos em milhões de Reais constantes de 1989,  $\alpha = 0,2163$ ,  $\beta = 0,00093636$ ,  $\gamma = 1$  e  $\delta = 0,036364$ .

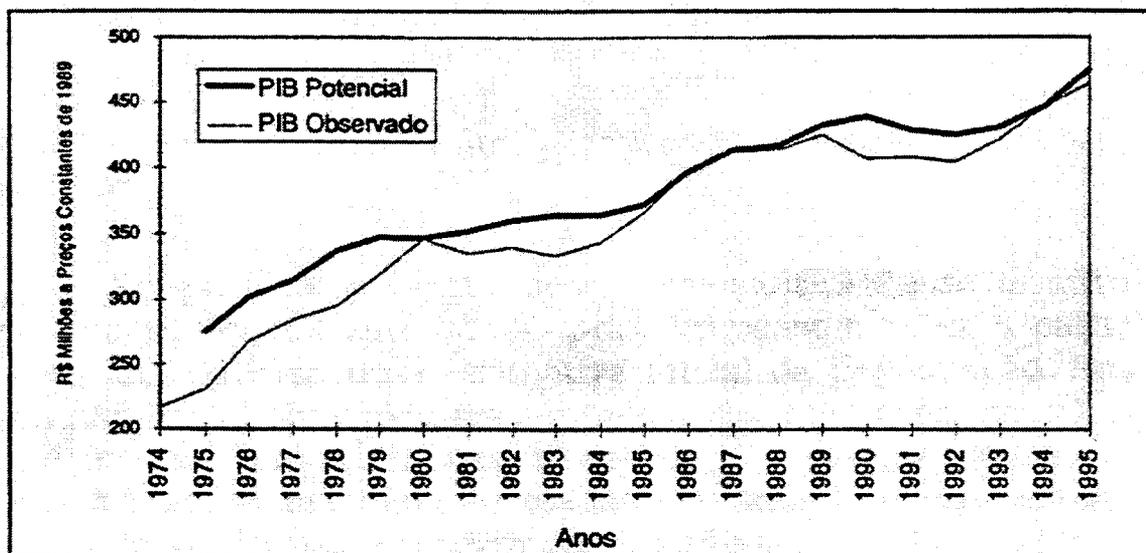
GRÁFICO (4.1.1): Modelo presa-predador - PIB potencial e PIB em equilíbrio.



Como já foi deduzido na seção (3.3.6), as soluções no entorno do ponto crítico são soluções oscilatórias, defasadas de um quarto de ciclo, descritas pelas equações (3.3.6.6) e (3.3.6.7), de período, tanto para  $x$ , como para  $y$ , calculado pela equação (3.3.6.8),  $T = 2\pi/(\alpha\gamma)^{1/2}$ .

Pode-se observar, no gráfico (4.1.4), o que ocorre com o sistema original, descrito visualmente pelo gráfico (4.1.1), quando os valores constantes de alfa, correspondentes ao estado de equilíbrio, são substituídos pela série histórica, calculada na tabela (4.1.1). Para efeito de comparação entre os resultados do modelo *presa-predador* e os valores observados historicamente, apresenta-se a seguir um resumo do trabalho de J. C. Carvalho [op. cit., (1996)], abordando as questões pertinentes à essa proposta. O gráfico (4.1.2), por exemplo, representa a *capacidade produtiva* e o *PIB*, “observados no passado”, obtidos do cálculo realizado pelo autor, no qual ele apresenta uma metodologia para se estimar o *PIB potencial*, a *relação capital/produto* e a *depreciação* do estoque de capital. As haspas são um alerta para o fato de que, tais variáveis não são observadas diretamente, mas resultado de cálculos envolvendo uma grande dose de arbitrariedade e aproximações.

**Gráfico 8**  
**PIB Potencial e Efetivo – 1974/95**



Fonte: [CARVALHO, (1996)]

Tradicionalmente, a relação capital/produto é calculada a partir de variações na utilização da capacidade instalada e está descrita em [PINHEIRO, (1989)]. Esse mesmo método foi utilizado, também, em [SUZIGAN, (1974)] e pode ser dividido em quatro etapas principais. Na primeira, o estoque de capital é estimado para cada ano, a partir de um estoque de capital, num dado ano. Aqui já se identificam dois elementos de arbitrariedade: a determinação desse estoque de capital e o montante do investimento líquido para cada ano. Como apenas o investimento bruto é observado, esse passo requer ainda uma estimativa da depreciação a cada ano. Na segunda etapa, estima-se, ano a ano, a relação capital/produto, utilizando-se o produto efetivo. Na terceira, toma-se a menor relação capital/produto e assume-se que essa seja a que equivale ao pleno emprego dos fatores. A partir dessa hipótese, parte-se para a quarta e última etapa do processo, que consiste em se estimar o produto potencial, utilizando-se para toda a amostra a relação capital/produto de pleno emprego obtida no terceiro estágio. O grau de utilização da capacidade instalada segue automaticamente a relação entre o produto potencial estimado e o produto efetivo, lembrando que o *produto potencial* é normalmente definido como o ponto a partir do qual

qualquer expansão do produto leva a uma pressão de custos e, conseqüentemente, de preços, de tal magnitude que o produto efetivo retorna ao seu nível potencial.

O procedimento metodológico e instrumental descrito a seguir, extraído da referência anterior, também se baseia na obtenção do *produto potencial*, definido acima e, basicamente, constitui-se numa busca numérica iterativa, do ponto de equilíbrio entre a oferta agregada  $Y_s$ , e a demanda agregada  $Y_d$ . Dessa maneira, é possível se gerar, endogenamente, a relação *capital/produto e o investimento líquido*, que por sua vez fornecem, como subproduto, a *depreciação* do estoque de capital, ano a ano. O ponto onde as curvas  $Y_s$  e  $Y_d$  se cruzam é, por definição, o nível do produto potencial  $Y_{pot}$ . As funções entre as variáveis macroeconômicas são lineares, definidas por:

$$Y_d = Y[M, I, (T-G), e, w]$$

$$Y_s = Y[w, e, Pmp]$$

onde:

$M = M_4$  (soma de todos os meios de pagamento) =  $M_1 + M_2 + M_3 +$  saldo dos títulos públicos federais em circulação.

$I =$  Formação bruta de capital fixo a preços constantes de 1980.

$(T-G) =$  Poupança do Governo em conta corrente.

$e =$  Taxa de câmbio média do ano.

$w =$  Índice de salários nominais da Fiesp.

$Pmp =$  IPA de matérias primas.

O PIB potencial é calculado através do ajuste da forma reduzida do modelo acima, isto é, pelo ajuste de  $Y$ , em função das variáveis acima:

$$Y = Y[M, I, (T-G), e, w, Pmp]$$

e assumindo-se *plena utilização dos fatores em 1986*, ou seja,  $PIB(1986) = PIB_{pot}(1986)$ .

A série de dados históricos compreende os anos de 1975 a 1995, extraído-se ano a ano uma estimativa do produto potencial. A estimativa da relação capital/produto deriva de uma

relação entre o investimento, isto é, a adição marginal ao estoque de capital, e o acréscimo marginal do PIB potencial  $\Delta Y_p$ :

$$\Delta Y_p = a + b.I(t)$$

O coeficiente  $b$  representa a relação *produto/capital* incremental e, portanto, o seu inverso é uma estimativa da relação *capital/produto*. O problema é que nem todo investimento leva a um aumento do *produto potencial*, uma vez que parte do investimento se destina à reposição do estoque de capital depreciado. Assim, na fórmula acima se deve utilizar o *investimento líquido*, para explicar os aumentos no *produto potencial*. Isto é feito de forma iterativa, primeiramente, extraíndo-se da equação acima um valor inicial de  $b$  e do *estoque de capital*,  $K(t)$ :

$$K(t) = (1/b) \cdot Y_p(t)$$

O passo seguinte é conseguir a estimativa para a *depreciação*  $D(t)$ , o que pode ser obtida a partir da identidade que determina a evolução do estoque de capital:

$$D(t) = I(t) - [K(t) - K(t-1)]$$

Com a depreciação calculada ano a ano é possível se calcular uma média  $D_{med}$  de forma a se obter um *valor inicial* para o investimento líquido  $I_{líq}$ :

$$I_{líq} = I - D_{med}$$

Dada esta primeira estimativa do investimento líquido, roda-se novamente a regressão em que o investimento explica o aumento do produto potencial, isto é:

$$\Delta Y_p = a' + b'.I_{líq}$$

Da estimativa do parâmetro  $b'$ , obtém-se uma nova estimativa da relação *capital/produto*, dando seqüência ao processo iterativo, isto é, obtém-se o estoque de capital, a depreciação e o investimento líquido, cujos valores correspondem à convergência entre dois valores sucessivos de  $b$  ( $b$  e  $b'$ ). Como conseqüência dessa convergência, a *relação capital/produto tende ao valor de 2,58* e uma *depreciação média para todo o período de 4,32% do estoque de capital*. Procedendo-se à uma análise particionada em subgrupos de anos, obtém-se estimativas do estoque de capital em cada período de tempo. Cotejados com os valores do investimento bruto, obtém-se uma estimativa das depreciações do estoque de capital ano a ano, apresentadas na tabela (4.1.1). O que se deduz destes valores é o caráter pró-cíclico da depreciação, traduzido em saída de capital ineficiente e antiquado nos períodos nos quais há insuficiência de demanda e, no caso contrário,

isto é, em períodos nos quais há excesso de demanda, até mesmo o capital mais ineficiente se mantém ocupado, provocando um adiamento da sua depreciação.

TABELA (4.1.1): Comparação entre o “histórico” e modelo presa-predador.

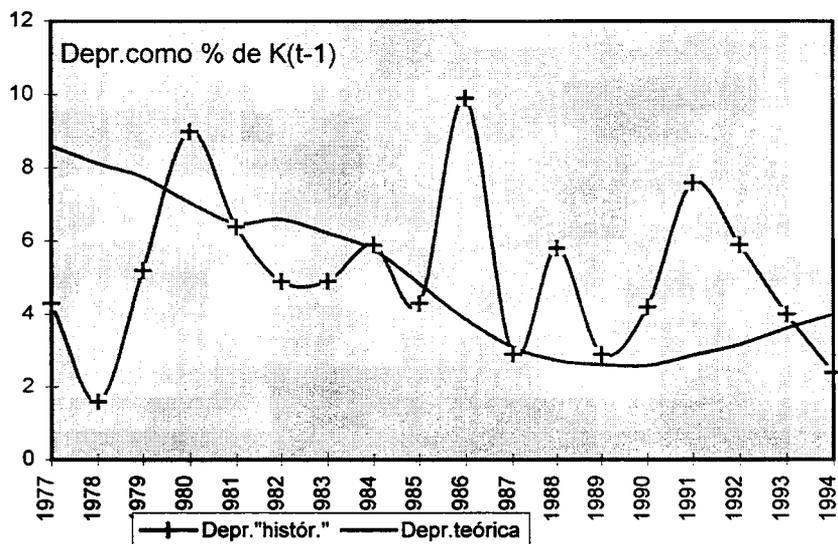
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
ANO	PIB	PIB potencial	fbcf % (1980)	ALFA	K(=2,5773.PIB)	Depr.teorica	Calculado a	Período osc.
1974	(10 <sup>3</sup> R\$1989)	(10 <sup>3</sup> R\$1989)	0,247		(10 <sup>3</sup> R\$1989)	(% do Kt-1)	partir histórico	teórico (anos)
1975	231	275	0,2577	0,216468	595,4			
1976	268	302	0,2502	0,22203179	690,7	Depr.teorica	Depr."hist."	13,3
1977	284	315	0,2356	0,21241397	732,0	8,6	4,3	13,6
1978	295	337	0,2351	0,2057997	760,3	8,1	1,6	13,9
1979	319	347	0,2288	0,21033775	822,2	7,8	5,2	13,7
1980	346	347	0,2277	0,2270438	891,7	7,1	9	13,2
1981	335	352	0,2088	0,19871591	863,4	6,5	6,4	14,1
1982	340	360	0,1937	0,18293889	876,3	6,6	4,9	14,7
1983	333	364	0,1684	0,15405824	858,2	6,2	4,9	16,0
1984	343	364	0,1619	0,15255962	884,0	5,8	5,9	16,1
1985	366	372	0,1632	0,16056774	943,3	4,8	4,3	15,7
1986	397	397	0,1866	0,1866	1023,2	3,8	9,9	14,5
1987	412	414	0,178	0,1771401	1061,8	3,1	2,9	14,9
1988	414	417	0,1696	0,16837986	1067,0	2,7	5,8	15,3
1989	425	433	0,1662	0,16312933	1095,4	2,6	2,9	15,6
1990	407	439	0,1551	0,14379431	1049,0	2,6	4,2	16,6
1991	408	429	0,1517	0,14427413	1051,5	2,9	7,6	16,5
1992	405	425	0,1398	0,13322118	1043,8	3,2	5,9	17,2
1993	422	431	0,1438	0,14079722	1087,6	3,6	4	16,7
1994	446	447	0,1527	0,15235839	1149,5	4,0	2,4	16,1
1995	465	475	0,1662	0,16270105	1198,4	4,4		15,6

Fontes:[1], [2], [3], [5] e [7]: [CARVALHO J., op. cit., (1996)] e [4], [6], e [8]: modelo teórico *presa-predador*.

Para efeito de comparação entre os valores “históricos”, obtidos pela metodologia descrita acima e os valores do modelo *presa-predador*, procede-se aos cálculos descritos em seguida. Os valores anuais de ALFA (coluna [4]), foram obtidos, calculando-se a *fbcf*, como (%) do PIB e, em seguida, estimando-se o quanto ela representa como percentual do PIB potencial. O valor de BETA é aquele correspondente ao ponto crítico do ano 1974 (PIB=ALFA/BETA), mantido constante para os outros anos. O valor de BETA, multiplicado pelos produtos PIB(t) x PIBpot(t), obtidos pelo modelo teórico e não mostrados na tabela (4.1.1), correspondem às depreciações estimadas pelo modelo *presa-predador* e, em seguida, representadas como percentuais do estoque de capital do ano anterior, para efeito de comparação com as depreciações “históricas” (colunas [6] e [7]). Finalmente, na coluna [8] comparecem os períodos de oscilação previstos pelo modelo *presa-predador* [=2π/(αγ)<sup>1/2</sup>], com γ = 1, exibindo valores entre 13 a 17 anos, 65% a 100%

maiores que as oscilações observadas para a série temporal dos investimentos, sugerindo que essas diferentes oscilações são provenientes de mecanismos distintos. Aliás, examinando-se os gráficos (4.1.2) e (4.1.4), pode-se observar que, em virtude dessa diferença, há uma tendência das oscilações se contraporem em 1983, mas de se somarem em 1992.

GRÁFICO (4.1.3): Depreciações “histórica” e teórica anuais do estoque de capital.

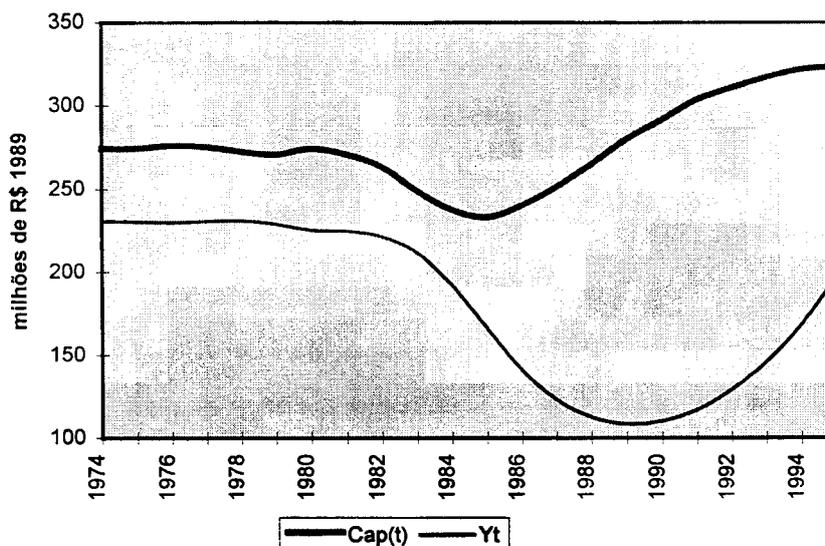


Fonte: tabela (4.1.1)

Observa-se do gráfico acima que:

- a.) A depreciação média teórica é aproximadamente igual ao do valor “histórico”.
- b.) O caráter nitidamente pró-cíclico da depreciação teórica, como o “histórico”, mas com períodos de oscilação distintos.
- c.) O comportamento mais estável da curva teórica, comparado com a “histórica”.

GRÁFICO (4.1.4): PIB potencial e PIB, calculados pelo modelo presa-predador.



Sobre esse modelo e sobre as simulações, extraem-se as seguintes conclusões:

- Primeiramente, o gráfico “histórico” (4.1.2) mostra que existe uma defasagem entre a capacidade produtiva e o PIB, e isso é, também, um resultado teórico do modelo *presa-predador*, no qual a defasagem entre essas variáveis é de um quarto de ciclo. Entretanto, como já foi apontado, os fenômenos oscilatórios parecem se originar de mecanismos distintos. Isso é um indício de que outros fenômenos estão presentes na composição final do movimento oscilatório, que o modelo teórico, na forma simplificada em que está representada, é incapaz de reproduzir.
- O comportamento real, tanto da capacidade produtiva, quanto do PIB, têm além do caráter cíclico, uma componente de crescimento. Esse fato foi uma das razões, pela qual a hipótese assumida na Introdução deste trabalho de dividir o Estoque de Capital em duas componentes  $k$  e  $k^o$ , responsáveis, respectivamente pelo comportamento oscilatório e crescente do PIB, foi uma hipótese razoável adotada no estudo empírico da seção (3.3.7).
- Os montantes relativos à capacidade produtiva  $x$  e ao produto interno bruto  $y$ , variam senoidalmente com o passar do tempo, com período  $T$ , dado pela equação (3.3.6.8). É de suma importância notar que esse período varia essencialmente com o *parâmetro*  $\alpha$ , uma vez

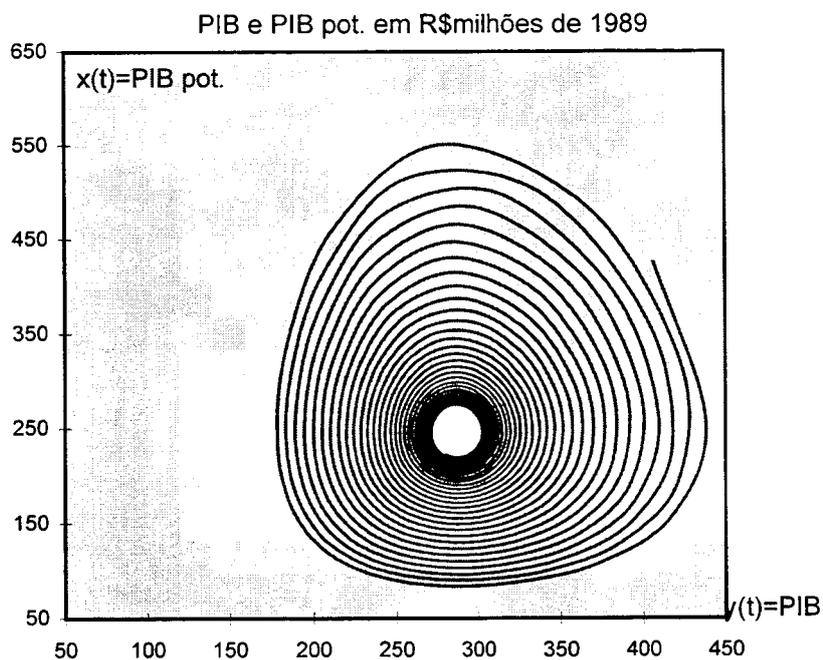
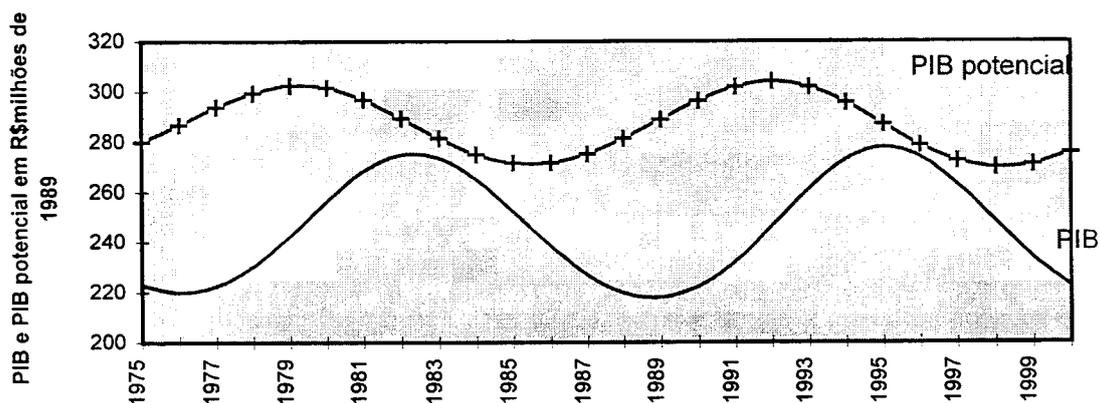
que  $\gamma$  deve assumir o valor aproximado de 1, para que o PIB anual “se esvaia”, ao final de cada intervalo, para ser novamente “criado” no ano seguinte, cumprindo assim, seu papel de “fluxo anual”. Valores de  $\alpha$  calculados na tabela(4.1.1) levam a períodos de oscilação de 13 a 16 anos, correspondentes aos ciclos, já mencionados anteriormente, da indústria de construção. Mostra também dois fatos importantes: *variações de investimentos causam flutuações vários anos adiante e o estado oscilatório é a regra e não a exceção, como havia sido antecipado na Introdução.*

- Nota-se que esse período, fornecido matematicamente por este modelo assim construído, independe do “tamanho” da economia do país, como era de se esperar.
- O fato das equações para  $x$  e  $y$ , em função do tempo exibirem o mesmo argumento nas funções seno e coseno, significa que, entre essas funções trigonométricas, existe uma defasagem temporal de um quarto de ciclo. A capacidade produtiva precede a do PIB, que a sucede.
- As amplitudes de oscilação são  $(\gamma/\delta).K$  para a capacidade produtiva e  $(\alpha/\beta).(\gamma/\alpha)^{1/2}.K$  para o PIB, dependendo ambas, das condições iniciais e dos parâmetros do problema, que definem diferentes “órbitas”, como foi visto na seção(3.3.6). Isso é válido, entretanto, somente para soluções próximas do ponto de equilíbrio. Como pode ser observado pelas simulações apresentadas, as amplitudes de oscilação têm a tendência de aumentar com o tempo, mostrando uma instabilidade não observável experimentalmente. Isso é um forte indício de que o sistema real é muito mais complexo e robusto que o modelo proposto e que, no sistema real, existem mecanismos de frenagem e formas de “atrito”, que procuram dissipar eventuais tendências ao comportamento destemperado e explosivo da economia, como já foi apontado no decorrer do texto, tanto por [KALECKI M., p.171, (1978)], quanto por [ARROW K.,p. 248, (1988)]. O sistema macroeconômico real tem a grande capacidade de absorver comportamentos explosivos tanto os gerados endogenamente, quanto aqueles provocados por eventuais choques exógenos.
- Sendo o sistema *presa-predador*, um sistema analiticamente não linear, duas trajetórias partindo de condições iniciais, mesmo sendo arbitrariamente próximas, após um intervalo de tempo, que se mostrou relativamente grande, divergirão consideravelmente, mostrando

claramente a SCI, sensibilidade às condições iniciais. Por esse motivo, qualquer previsão utilizando esse modelo, só terá algum significado válido para horizontes de curto prazo, exatamente como acontece com os modelos meteorológicos, também fortemente não lineares, cujo horizonte de validade não ultrapassa uma semana.

Complementando o estudo numérico, apresenta-se uma simulação, utilizando-se o método de discretização de Heun, desenvolvido na seção (3.3.6), traduzida pelos gráficos (4.1.5).

GRÁFICOS (4.1.5): PIB potencial e PIB, pelo método de Heun.



Fonte: Elaboração própria.

Os valores dos parâmetros são:  $\alpha = 0.228$ ,  $\beta = 0.00092683$ ,  $\gamma = 1$ ,  $\delta = 0.00348432$ . Com estes valores, o ponto crítico corresponde ao ponto:  $x(0) = 287$  e  $y(0) = 246$ . O período de oscilação próximo ao ponto crítico é  $T = 13,2$  anos. Os valores iniciais são:  $x(1975) = 275$  e  $y(1975) = 231$ , ambos em milhões de Reais constantes de 1989.

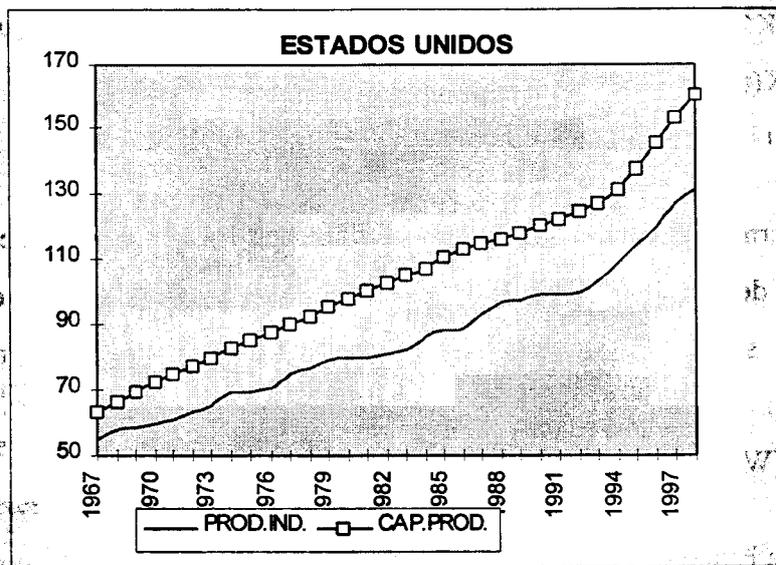
As várias simulações numéricas efetuadas mostram uma *grande estabilidade* das soluções, em torno das condições iniciais, mas com uma tendência, com o passar do tempo, de se dirigirem para a borda da figura, indicando ser esta, um atrator do sistema. A realidade macroeconômica tem-se mostrado de forma semelhante, ou seja, o sistema real tem grande capacidade de absorver comportamentos explosivos gerados endogenamente e por eventuais choques externos, como já foi observado, tanto por M. Kalecki<sup>1</sup>, em seu estudo semi-empírico das flutuações cíclicas nos Estados Unidos, entre 1866 a 1914, quanto por K. Arrow<sup>2</sup>, comentando os aspectos estocásticos e não lineares da dinâmica econômica. Entretanto, como já foi mencionado na seção (3.3.6), o mecanismo *presa-predador* aplicado ao PIB-estoque de capital, tem, aparentemente, muito pouca relação com o comportamento atual do PIB americano, muito mais suscetível às externalidades e outros fatores de crescimento, apresentados no apêndice (B.3). Contudo, analisando isoladamente a *capacidade produtiva e a produção industrial* deste país, nota-se as oscilações típicas deste tipo de mecanismo, mostradas no gráfico (4.1.6).

---

<sup>1</sup> Em [KALECKI M., p.171, (1978)].

<sup>2</sup> Em [ANDERSON W.P., ARROW K., PINES D., p.248, (1988)].

GRÁFICO (4.1.6): capacidade produtiva e produção industrial nos EUA



FONTE: Total Industrial Production Index//indpro  
<http://bos.business.uab.edu/charts/>

#### 4.2. MODELO EMPÍRICO MACROECONÔMICO - O CASO BRASILEIRO .

A equação (3.3.7.10) para a relação (Y/K), obtida na seção (3.3.7), mais a relação entre o estoque de capital e o investimento líquido, permitem, conhecido a formação bruta de capital fixo Iv(t) e os parâmetros do ajuste não-linear, estabelecer as seguintes relações:

$$Y(t)/K(t) = C1(t).[K(t) - C2.cosW.t]/K(t) + [C2.senW.t]/K(t) \quad \text{Equação (3.3.7.10)}$$

$$K(t) = K(t-1) + Inv.liq.(t) = K(t-1) + [Iv(t) - Depr(t)] =$$

$$K(t) = K(t-1) + \alpha.Y(t) - Dp.K(t-1) = (1-Dp).K(t-1) + \alpha.Y(t) \quad \text{Equação (4.2.1)}$$

por outro lado, também da seção (3.3.7):

$$Y(t) = y^0 + y = C_1(t).k^0 + C_2.senW.t \quad \text{Equações (3.3.7.5) e (3.3.7.7) e,}$$

$$k^0 = K(t) - k(t) = K(t) - C2.cosW.t \quad \text{da Equação (3.3.7.8) portanto,}$$

Portanto,

$$K(t) = (1-Dp).K_{t-1} + \alpha.C1(t).[K(t) - C2.\cos W.t] + \alpha.C2.\sen W.t$$

Resolvendo-se para  $K(t)$ , vem:

$$K(t) = \{(1-Dp).K(t-1) + \alpha C2.[\sen W.t - C1(t).\cos W.t]\} / [1-\alpha C1(t)] \quad \text{Eq.(4.2.3)}$$

A Eq.(4.2.3) permite obter  $K(t)$  em função de  $K(t-1)$  do ano anterior, das constantes  $C2$ ,  $W$ , do parâmetro  $C1(t)$  e de  $\alpha$ , que é o percentual a ser aplicado ao PIB, para se obter o Investimento bruto, FBCF. Para simplificar a notação, subentenda-se que o argumento das funções trigonométricas ( $W.t$ ), na realidade embute uma fase  $\varphi$ , a ser determinado pelo ajuste estatístico não-linear. Portanto ( $W.t$ ) é na realidade ( $W.t + \varphi$ ).

Multiplicando a Equação (3.3.7.10) pela Equação (4.2.3), obtém-se  $Y(t)$  em função da única variável necessária para se estimar o PIB, que é o valor de  $\alpha$ . Recapitulando, são os seguintes passos para se fazer a previsão do PIB:

- \* Projetar a relação ( $Y/K$ ) através das Equações (3.3.7.10) e (4.2.3) e os parâmetros obtidos da seção (3.3.7):

$$C2 = -816496,627$$

$$W = 2\pi/T = 0,73919827$$

$$\varphi = 0,08395983$$

$$C1(n) = c_{01}.(1-i)^n = 0,426.(0,99457549)^n$$

$$T = 8,5 \text{ anos}$$

- \* Obtido ( $Y/K$ ) para os anos de prospecção, recuperam-se os valores de  $Y(n)$ , multiplicando-se a série obtida pela Equação (4.2.3). No caso ( $n$ ) representa a discretização do tempo, isto é, os anos, anteriormente representado por ( $t$ ).

A tabela (4.2.1), resume as principais variáveis citadas para os anos de previsão. Os limites superior e inferior, correspondem aos valores na faixa de  $\pm 2,5\%$ , em torno do valor previsto, onde se encontram 83% dos pontos na série histórica. Os gráficos (4.2.1) e (4.2.2) mostram para os

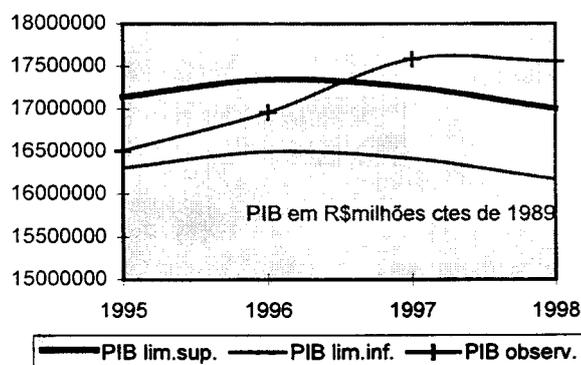
últimos anos observados, o comportamento do PIB, da previsão do PIB e os limites definidos pela citada faixa de 5%, assim como as respectivas taxas de crescimento.

TABELA (4.2.1): Resultados do modelo do cenário A

CENÁRIO A: FBCF = 18% do PIB a partir de 1999 (PIB em R\$ milhões a preços constantes de 1989).									
ANO	PIB previsão	tx.cr.PIB (prev.)	PIB lim.sup.	PIB lim.inf.	PIB observ.	tx.cr.PIB (obsv.)	tx.cr.máx.prev.	tx.cr.min.prev.	FBCF (%pib)
1995	16725869	(%)	17144016	16307722	16507465				16,6
1996	16922596	1,18	17345661	16499531	16963071	2,76	3,71	-1,35	16,0
1997	16838054	-0,50	17259005	16417102	17587312	3,68	1,99	-2,99	17,5
1998	16590497	-1,47	17005260	16175735	17560931	-0,15	0,99	-3,93	17,5
1999	16523267	-0,41	16936349	16110185			2,08	-2,90	18,0
2000	16835757	1,89	17256651	16414863			4,44	-0,66	18,0
2001	17563834	4,32	18002930	17124738			6,93	1,72	18,0
2002	18526646	5,48	18989812	18063480			8,12	2,84	18,0
2003	19421010	4,83	19906535	18935484			7,45	2,21	18,0
2004	19979812	2,88	20479307	19480317			5,45	0,31	18,0

Fonte: IBGE e elaboração própria.

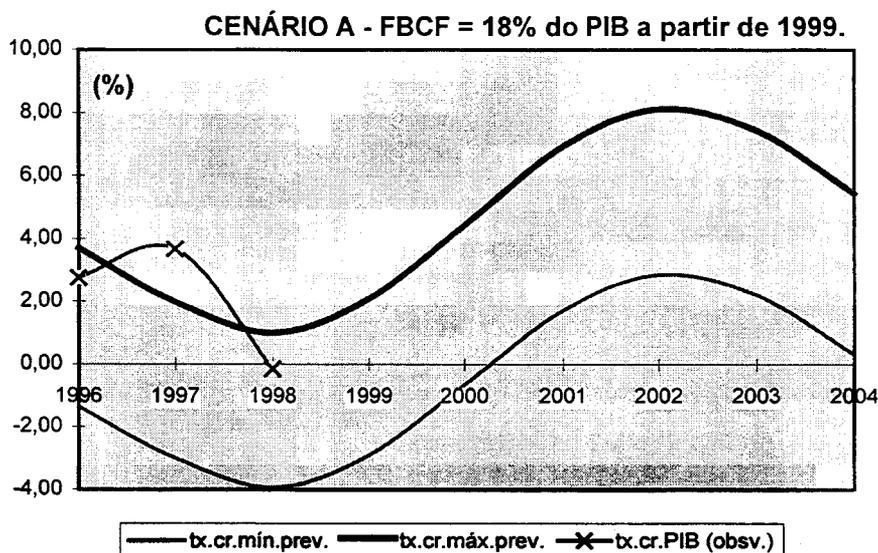
GRÁFICO (4.2.1): PIB real e a previsão dentro da faixa de 5%



Fonte: IBGE e elaboração própria.

A Formação Bruta do Capital Fixo (FBCF), como percentagem do PIB é a única variável independente do modelo. Até o ano de 1998, são valores históricos e de 1999 a 2003 são valores assumidos para simulação, sendo de 18% do PIB no primeiro caso, mantendo a tendência dos últimos anos e de 21% do PIB, no segundo.

GRÁFICO (4.2.2): Previsão do cenário A - taxas de crescimento máxima e mínima



Fonte: tabela (4.2.1)

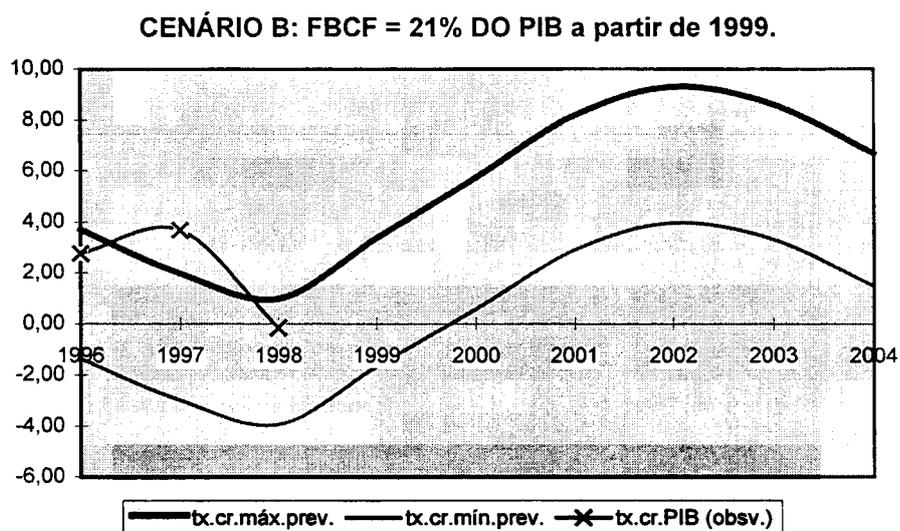
Nota-se, dentro da faixa de 83% de probabilidade de ocorrência, uma nítida propensão de crescimento negativo do produto em 1999, subindo em 2000, atingindo o ápice em 2002, com cerca de 5,5% de crescimento em relação a 2001, se permanecerem os mesmos níveis de investimento de anos anteriores. Aumentando-se o FBC para 21% do PIB a partir 1999 em diante, há uma sensível melhora nos resultados, já em 1999, invertendo o sinal do crescimento, em relação ao cenário A, que passa a ser positivo e atingindo o ápice, também em 2002, com um crescimento de 6,6%, em relação a 2001, como pode ser visto pela tabela (4.2.2) e gráfico (4.2.3).

TABELA(4.2.2): Resultados do modelo do cenário B

CENÁRIO B: FBCF = 21% do PIB a partir de 1999 (PIB em R\$ milhões a preços constantes de 1989).									
ANO	PIB previsão	tx.cr.PIB (prev.) (%)	PIB lim.sup.	PIB lim.inf.	PIB observ.	tx.cr.PIB (obsv.)	tx.cr.máx.prev.	tx.cr.min.prev.	FBCF (%pib)
1995	16725869		17144016	16307722	16507465				16,6
1996	16922596	1,18	17345661	16499531	16963071	2,76	3,71	-1,35	16,0
1997	16838054	-0,50	17259005	16417102	17587312	3,68	1,99	-2,99	17,5
1998	16590497	-1,47	17005260	16175735	17560931	-0,15	0,99	-3,93	17,5
1999	16731864	0,85	17150161	16313567			3,37	-1,67	21,0
2000	17260066	3,16	17691568	16828565			5,74	0,58	21,0
2001	18216895	5,54	18672318	17761473			8,18	2,91	21,0
2002	19426338	6,64	19911997	18940680			9,31	3,97	21,0
2003	20586516	5,97	21101179	20071854			8,62	3,32	21,0
2004	21427506	4,09	21963194	20891819			6,69	1,48	21,0

Fonte: IBGE e elaboração própria.

GRÁFICO (4.2.3): Previsão do cenário B - taxas de crescimento máxima e mínima.



Fonte: tabela (4.2.2)

A tabela (4.2.3) e o gráfico (4.2.4) mostram os resultados do cenário A (tendencial), bem como as previsões do BIRD e as oficiais, referentes às taxas de crescimento do PIB, nos próximos anos. Existe uma relativa concordância dos resultados deste trabalho com o BIRD, que divergem do habitual otimismo governamental.

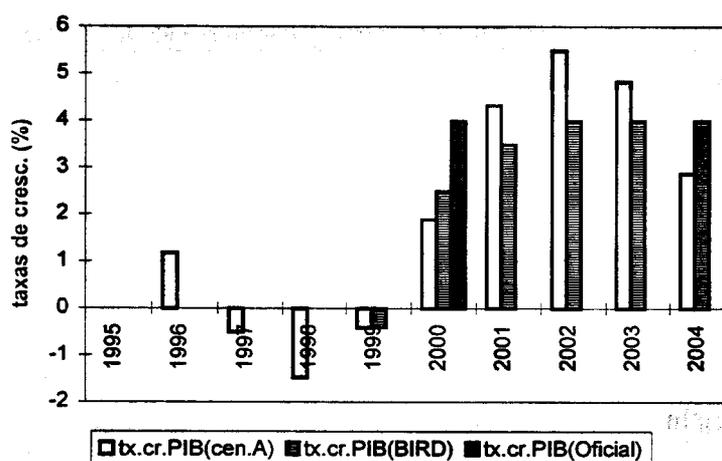
O que se conclui com os resultados apresentados, é que apesar da possibilidade de se definir o crescimento econômico no ano, através da variável investimento, essa não é a única determinante do crescimento, existindo uma forte componente “determinística”, em função de decisões de investimentos tomadas no passado, conclusão essa já extraída do modelo *presa-predador*. Aliás, esse “determinismo” é um fato incontestável, desde que se aceite de antemão, a existência e a predominância de ciclos na economia.

TABELA (4.2.3): Previsões de taxas de crescimento - cenário A, BIRD e oficial.

ANO	tx.cr.PIB(cen.A)	tx.cr.PIB(BIRD)	tx.cr.PIB(Oficial)
1995	(%)	(%)	(%)
1996	1,18		
1997	-0,50		
1998	-1,47		
1999	-0,41	-0,4	
2000	1,89	2,5	4
2001	4,32	3,5	
2002	5,48	4	
2003	4,83	4	
2004	2,88	4	

Fonte: Tabela (4.2.1) e [Folha de São Paulo, (08/12/1999)]

GRÁFICO (4.2.4): Previsões de taxas de crescimento - cenário A, BIRD e oficial.



Poder-se-ia argumentar que, uma vez que o modelo apresentado só depende de uma variável independente, no caso o FBCF, porque não se fazer, simplesmente, uma regressão do PIB com essa variável, economizando assim, tempo e esforço. A resposta é que, embora exista obviamente, a dependência do PIB com o investimento, uma vez que este é uma parcela da demanda agregada, essa não se dá apenas de forma direta, mas também através da recomposição do estoque de capital, produzindo mais renda, num processo dinâmico de mútua sustentação, dando origem aos ciclos, tanto na renda, quanto no estoque de capital. O gráfico (2.2.2.2) do capítulo 2, mostra uma visível correlação entre os comportamentos do PIB e o FBCF. Entretanto o coeficiente da regressão linear ( $R^2$ ) entre essas variáveis é baixo, em torno de 0,5, sugerindo a presença de outros mecanismos intervindo no processo econômico.

Citando apenas como um fato curioso, pode-se dizer que a dinâmica de interação entre o estoque de capital e o PIB faz lembrar, inevitavelmente, um fenômeno análogo da física. Ocorre na eletrodinâmica, qual seja, o da propagação de uma onda eletromagnética, na qual, tanto o campo elétrico, quanto o magnético, oscilam perpendicularmente, num processo também, de mútua sustentação, prescindindo, inclusive, de um meio físico, para tal.

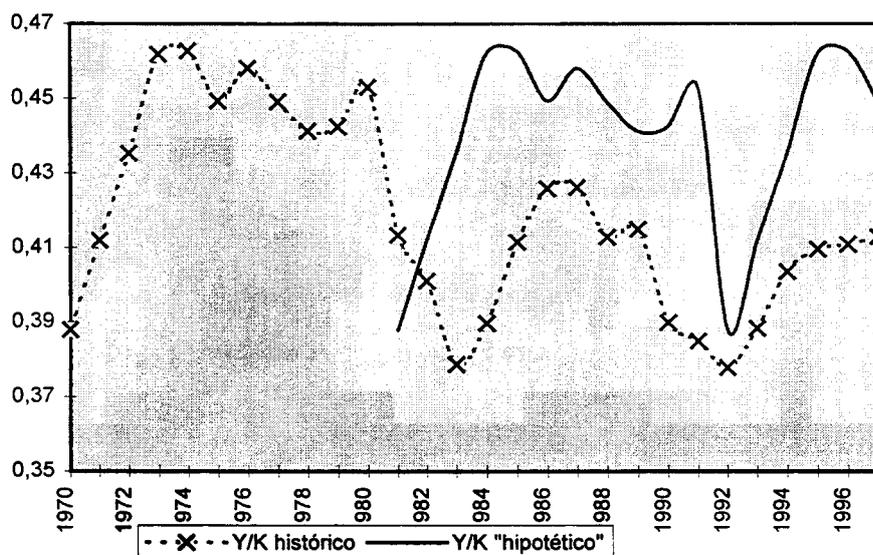
#### 4.3. O PASSADO REVISITADO - UMA ANÁLISE *EX-POST* DA DEMANDA DE ENERGIA.

Os resultados dos trabalhos de previsão da demanda de energia no Brasil, realizados em 1980, utilizando-se o MEDEE e apresentados no capítulo 2, são um exemplo da importância da correta avaliação da atividade econômica, para uma prospecção aceitável dos requisitos de energia, necessários ao funcionamento do sistema econômico. Vivia-se, ao final dos anos 70, apesar dos sucessivos choques do petróleo, o otimismo resultante, ainda, do milagre econômico daquela década, com um crescimento médio do PIB de 8,63% ao ano, entre 1970 e 1980, (em 1980, a taxa havia sido de 9,3%!), justificando-se, assim, o clima de otimismo predominante, principalmente nos meios oficiais. Apesar da relativa precaução assumida nos citados trabalhos, em relação às previsões oficiais, *invertendo, inclusive, a tendência da década passada*, superestimou-se, mesmo assim, o nível da atividade econômica, nos períodos subsequentes. Explicitando em números: para um crescimento real do PIB de 2,08% ao ano, entre 1980 e 1997, assumiu-se, naqueles trabalhos, um crescimento de 6% ao ano, enquanto as previsões oficiais excediam os 9% ao ano, coerente, portanto, com a tendência histórica. As razões para se assumir tal *inversão da tendência* de crescimento, naqueles trabalhos, àquela época, foram essencialmente baseadas na incerteza do comportamento dos preços do petróleo e, em outros argumentos qualitativos, dando crédito ao sentimento de que tais patamares de atividade econômica, não poderiam ser sustentados por muito tempo, traduzindo, dessa maneira, a crença existente, em alguns meios mais críticos, principalmente acadêmicos, do comportamento cíclico da economia. Mesmo assim, em ambos os casos, tanto nos trabalhos citados, quanto nas previsões oficiais, houve uma superavaliação da demanda de energia, evidenciada, por exemplo, nos gráficos (2.1.3) e (2.1.7), para a eletricidade.

A pergunta que surge, naturalmente, hoje, é: até que ponto os resultados obtidos através do MEDEE poderiam ser “melhorados”, senão quantitativamente, pelo menos do ponto de vista metodológico, justificando-se, adequadamente as hipóteses de crescimento, se, na ocasião, fosse adotada, na previsão do PIB, a idéia central do presente trabalho, isto é, a hipótese da pré-existência e da influência dos ciclos econômicos. O gráfico (4.3.1) faz o cotejamento desta hipótese, a partir de 1980, com o desenrolar histórico da série de  $(Y/K)$  de 1970 a 1997. Obviamente, seria impossível, naquela época, prognosticar a tendência de queda da *produtividade do capital*, observada a partir de 1980, afetando dramaticamente, concomitantemente, com a coincidente queda nos investimentos, o comportamento otimista previsto para a economia. Como pode ser visto na tabela (3.3.7.1) a FBCF média, como percentual do PIB, em valores constantes de 1980, passa de 23,26% no período 1970/80, para 18,01% em 1981/87 e 15,8% no período 1988/97. Portanto, para se realizar uma análise *ex-post*, da demanda de eletricidade no Brasil, através da metodologia desenvolvida neste trabalho, assume-se as seguintes hipóteses:

- No gráfico citado, juntamente com a série histórica de  $(Y/K)$ , apresenta-se também, um “hipotético” comportamento para esta série, assumindo-se, que as flutuações cíclicas se repitam, após 1980, fornecendo para  $(Y/K)$ , o valor de 0,4494537 em 1997.
- Manutenção da média observada nos anos anteriores a 1980, do percentual de 23,26% do PIB, para o FBCF, uma vez que seria impossível, na época, prever a sua queda nos anos seguintes.

GRÁFICO (4.3.1): Série histórica e “hipotética” de (Y/K), a partir de 1980.



Fonte: tabela (4.3.1)

Para se obter o valor do PIB em 1997, segundo este modelo, é necessário uma avaliação do estoque de capital, para aquele ano, para então, obter-se o PIB, multiplicando-se (Y/K) por K. Para tal, utiliza-se a equação (4.2.1) que, após algumas passagens algébricas, fornece o estoque de capital no tempo t, em função do estoque no tempo (t-1), da depreciação (Dp) proporcional a K(t-1), da FBCF, como percentual do PIB e da relação (Y/K)t:

$$K(t) = K(t-1) + \alpha.Y(t) - Dp.K(t-1)$$

$$K(t) - \alpha.Y(t) = K(t-1).(1 - Dp)$$

$$K(t).[1 - \alpha.Y(t)/K(t)] = K(t-1).(1 - Dp)$$

$$K(t) = K(t-1).(1 - Dp)/[1 - \alpha.Y(t)/K(t)]$$

Nas equações acima, Dp = 0,0432 e o  $\alpha$  médio assumido, por hipótese, igual à média do período 1970/80, isto é, igual a 23,26% do PIB. A tabela(4.3.1) mostra os valores “hipotéticos” do estoque de capital, a partir de 1980, assim como os valores observados, extraídos da tabela (3.3.7.1).

TABELA (4.3.1): Valores hipotéticos, para simulação *ex-post*.

Valores em Cz\$ 1000 constantes de 1980					
ANO	K realiz.	K"hipotético"	Y/K"hipotét."	PIB"hipotét."	PIB realiz.
1980	27365006	27365006			12399842
1981	28663299	28780240	<b>0,38800295</b>	11166818	11853391
1982	29741444	30455814	0,41203712	12548926	11929103
1983	30401802	32423541	0,43536756	14116158	11515673
1984	31054227	34757078	0,46190071	16054319	12104401
1985	31859181	37267023	0,46277192	17246132	13114496
1986	33121911	39819985	0,4494537	17897240	14108655
1987	34299640	42643770	0,45811425	19535719	14617818
1988	35297112	45561320	0,44913728	20463287	14577572
1989	36282043	48580187	0,44134739	21440738	15058403
1990	36957044	51814958	0,44252946	22929645	14410892
1991	37561411	55417408	<b>0,45312769</b>	25111162	14459587
1992	37951080	58283425	0,38800295	22614141	14340555
1993	38467717	61676663	0,41203712	25413075	14941122
1994	39231848	65661545	0,43536756	28586907	15836561
1995	40288419	70387238	0,46190071	32511915	16507465
1996	41270108	75470176	0,46277192	34925478	16963071
1997	42573273	80640230	0,4494537	36244050	17587312

Fonte: Tabela (3.3.7.1) e elaboração própria.

A série PIB "hipotético" representa, portanto, a previsão desta variável, para os anos posteriores a 1980 e fornece uma taxa média de crescimento de **6,51% ao ano**, no período de 1980 a 1997. Este resultado vem, com um atraso de vinte anos, justificar a hipótese da *inversão da tendência de crescimento*, adotada naqueles trabalhos, nos quais o autor da presente tese participou, como co-autor. Mostra que, na época, embora a intuição estivesse correta, não existiam indicações e informações suficientes, para se avaliar, quantitativamente, a proporção da queda, tanto nos trabalhos citados, quanto no modelo *ex-post* aplicado.

Uma outra pergunta, que pode ser, hoje, respondida é: conhecendo-se o real crescimento do PIB entre 1980 e 1997, que foi de 2,08% ao ano, qual teria sido o resultado das previsões, através do MEDEE, trocando-se a taxa de crescimento do PIB de 6% ao ano, pelo valor efetivamente realizado? Essa variável macroeconômica foi utilizada nas equações prospectivas de demanda energética dos setores produtivos, nas formas definidas no capítulo 2, especificamente nas equações (2.1.1.d), ou seja, de forma *linear*. Portanto, uma variação do PIB produzirá uma variação proporcional na demanda energética dos setores produtivos, através de uma simples operação de proporcionalidade.

Com este procedimento é possível avaliar quão calibrado estava a estrutura de cálculo do MEDEE, com a realidade.

TABELA (4.3.2): Previsões demanda eletricidade MEDEE (taxa crescimento PIB a 6% a.a.).

(TWh)	SETORES PRODUTIVOS(**)	RESIDENCIAL
PIB(6%a.a. entre 1980 e 1997)	1997	1997
CENÁRIO. BÁSICO	402,2(*)	83,6(*)
CENÁRIO. ECOEN	282,7(*)	63,2(*)
REALIZADO	211,3	74,1

Fonte: [PRADO, (1981)] e [BEN, (1998)].

(\*) Obtidos por interpolação geométrica. (\*\*) Exceto setor energético.

A tabela (4.3.2) mostra os resultados da aplicação do MEDEE, já apresentados na seção (2.1), desagregados nos setores produtivos, nos quais o PIB tem interferência direta e no setor residencial, no qual as variáveis macro são, por exemplo, população, número de pessoas por residência, ou seja, não sofre a interferência direta do PIB, embora se saiba, que a demanda de energia, neste setor, está intimamente correlacionada, com o nível de renda da população. Como já foi observado, no capítulo 2, houve grande superestimação da demanda de energia elétrica, nos setores produtivos, enquanto que no residencial, as previsões foram até razoáveis.

Os valores previstos de demanda nos setores produtivos, para 1997, nos cenários básico e ECOEN foram, respectivamente, de 402,2 e 282,7 TWh, ambos associados a um crescimento do PIB, de 6% ao ano, entre 1980 e 1997. Se se considerar como valor \$100, no ano de 1980, ter-se-á, os valores de \$269,3 e \$141,9, respectivamente, para os crescimentos a 6% e 2,08% ao ano, em 1997. Portanto, se:

402,2 TWh está associado a → \$269,3

X(1) TWh está associado a → \$141,9

**X(1) = 211,9 TWh (Cenário Básico)**, com o PIB crescendo a taxa de 2,08% a.a.  
e

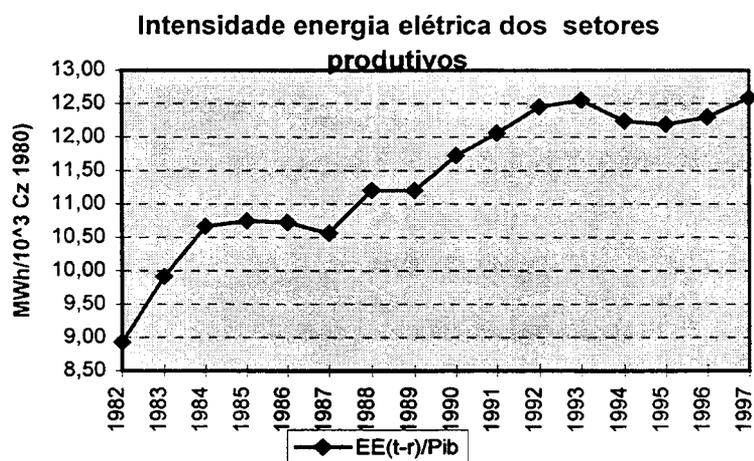
282,7 TWh está associado a → \$269,3

X(2) TWh está associado a → \$141,9

**X(2) = 149,0 TWh (Cenário ECOEN)**, com o PIB, também crescendo a taxa de 2,08% a.a.

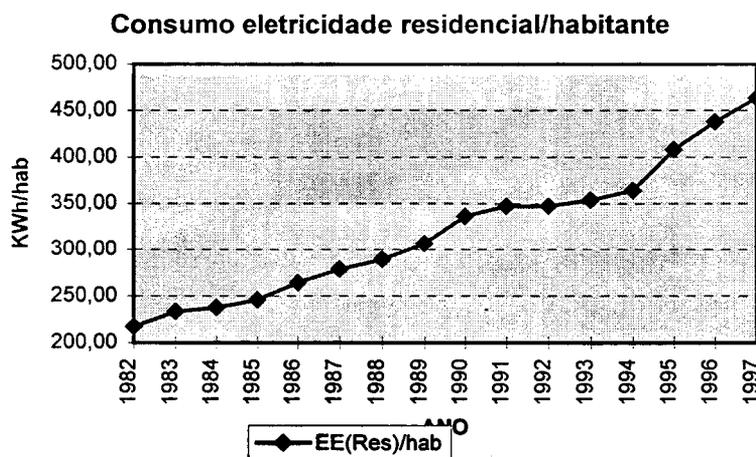
O valor obtido para o cenário Básico, tendencial,  $X(1) = 211,9$  TWh, praticamente, coincide com o realizado, mostrando que a estrutura contábil do MEDEE estava muito bem ajustada à realidade. Este ajustamento, como já foi apresentado na seção (2.1), é o resultado do tratamento de uma centena de equações de demanda e de parâmetros associados, traduzindo o comportamento final observado, por exemplo, nos gráficos (4.3.2) e (4.3.3), das intensidades energéticas produtivas e domiciliares.

GRÁFICO (4.3.2): Consumo final de eletricidade nos setores produtivos, por unidade de produto, em MWh/Cz\$1000 constantes de 1980.



Fonte: [BEN, (1998)] e [IBGE].

GRÁFICO (4.3.3): Consumo de eletricidade no setor residencial (KWh/habitante).



Fonte: [BEN, (1998)] e IBGE.

Ou seja, o comportamento das intensidades energéticas, tanto dos setores produtivos, quanto do setor domiciliar, foram corretamente avaliados no MEDEE, àquela época.

Finalizando este capítulo, uma conclusão parece emergir como um paradigma e ao mesmo tempo como alerta: é extremamente difícil esquivar-se das influências circunstanciais momentâneas do ambiente sócio-político-econômico vigente, ao se construir modelos prospectivos e aventurar-se em estudos de futurismo. Segundo [GUELLEC D., p.116, (1996)]:

*“De acordo com os clássicos do começo do século dezenove, o crescimento econômico, que eles começam a observar, não pode ser durável. Mais de século depois, segundo Harrod e Domar, profundamente marcados pela crise dos anos trinta, afirmam que ele não pode ser estável: um caminho de crescimento em equilíbrio pode existir, mas, uma vez dele desviado, não se pode retornar, espontaneamente. Solow, na metade dos anos cinquenta, quando o crescimento era forte, regular e presente em todos os países desenvolvidos, considera que um crescimento durável, estável e ótimo, pode ser realizado, espontaneamente, segundo o livre jogo de mercado. Ao final dos anos oitenta, após mais de dez anos de crescimento moderado, as novas teorias aportam para uma visão bem menos harmoniosa do crescimento econômico: durável, sem dúvida; estável, em parte; espontaneamente ótimo, certamente não. Cada época, com a sua representação.”*

## Capítulo 5.

“[...] a procura diz mais que a descoberta.”

Santo Agostinho, Zettel, #457  
em, [FAUSTINO, p.107, (1995)]

### Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos.

A grande transformação institucional que sofre o Setor Energético, transferindo para o setor privado a missão tradicionalmente desempenhada pelo Estado de produzir, transportar e distribuir a energia, obriga a uma profunda reformulação da atividade de planejamento. A desregulamentação deste setor, acompanhada da crescente desestatização conduz, entre outras consequências a descentralização das decisões e a um encurtamento do horizonte temporal de interesse, além do rebaixamento hierárquico da função de planejar. Esta atividade, de ora em diante, deverá ter um enfoque essencialmente imediatista e se ater, principalmente a propor soluções particulares para questões, principalmente restritas ao âmbito privado. No contexto público essa função será a de *subsidiar* e *indicar* eventuais caminhos e alternativas. Consequentemente, a *necessidade*, anteriormente referida, de se prospectar o futuro, deve contemplar além do médio e longo prazos, os anos imediatamente seguintes ao ano de estudo, foco principal de interesse e preocupação empresarial.

No sentido de se atender às demandas estabelecidas nesse novo contexto institucional, a análise do presente estudo privilegia o horizonte de curto e médio prazos. Aliás, previsões de curto prazo sempre foram de fundamental importância e fizeram parte de toda história econômica, como exemplifica o episódio citado por [GLEISER, (1997)]:

*“[Tales de Mileto] usando seu conhecimento astronômico e meteorológico, provavelmente herdado dos babilônicos, previu uma excelente colheita de azeitonas com um ano de antecedência. Sendo um homem prático, conseguiu dinheiro para alugar todas as prensas de azeite de oliva da região e, quando chegou o verão, os produtores de azeite de oliva tiveram que pagar a Tales pelo uso das prensas, que acabou fazendo uma fortuna”.*

Dentro dessa perspectiva, este trabalho procurou abordar, em seu escopo central, o tema da *previsibilidade*, ao menos no curto prazo, da demanda energética exigida pela sociedade. Para tal, procurou-se justificar e descrever a conexão primária existente entre a demanda energética e a variável macroeconômica básica, que em princípio, a determina, ou seja, a atividade econômica medida através do PIB.

No intuito de justificar a utilização de conceitos e instrumentos provenientes das ciências físicas e naturais, na análise do comportamento do sistema econômico, foram invocadas algumas “livre-associações”, principalmente, aquelas concernentes à relativização da importância do comportamento individual, frente à necessidade de sobrevivência da sociedade organizada, cada dia mais complexa, com a globalização. Nesse sentido, escreve o pesquisador de sistemas complexos, Ilya Prigogine<sup>1</sup>, fazendo uma analogia entre sistemas biológicos e sociedades humanas:

*“Cerca de 12 mil espécies de formigas são conhecidas hoje. Suas colônias variam de algumas centenas a muitos milhões de indivíduos. É interessante notar que o comportamento das formigas depende do tamanho da colônia. Em colônias pequenas, a formiga se comporta de forma individualista, procurando comida e a levando de volta ao ninho. Quando a colônia é grande, porém, a situação muda e a coordenação de atividades se torna essencial. Estruturas coletivas surgem espontaneamente, então, como resultado de reações autocatalíticas entre formigas que produzem trocas de informação medidas quimicamente. Não é coincidência que nas grandes colônias de formigas ou térmites os insetos individuais se tornem cegos. O crescimento populacional transfere a iniciativa do indivíduo para a coletividade.”*

A análise feita sobre o modelo gasoso/líquido, da seção (3.2.5), foi uma aproximação inicial para cotejar sistemas inanimados e sistemas vivos organizados. Assim, à medida que um gás vai se tornando cada vez mais denso e no limite, se transformando num fluido, cada molécula constituinte vai aumentando seus vínculos com o meio circundante e, conseqüentemente, perdendo “graus de liberdade” e independência, principal argumento utilizado neste trabalho para introduzir o conceito de “viscosidade” em sistemas sócio-econômicos. A partir então, das propriedades dinâmicas associadas à teoria dos fluidos, procurou-se inferir algumas conclusões

---

<sup>1</sup> Em [Folha de São Paulo, Mais!, p.6, (30/01/2000)].

sobre o comportamento ou previsibilidade da economia, particularmente sobre a estabilidade de tal sistema, incluindo também a possibilidade de previsão de eventuais comportamentos turbulentos, típicos da fluidodinâmica. Por exemplo, uma característica muito importante, peculiar aos fluidos é a propriedade de uma dada perturbação num ponto, se propagar no espaço e no tempo, muito além do efeito esperado para um sistema de elementos não interagentes. Foi visto, durante o trabalho, que se deveria esperar, ao menos intuitivamente, uma diminuição da “caoticidade”, no sentido clássico da palavra e um aumento da *previsibilidade* do comportamento de tal sistema, no caso de um aumento da “viscosidade” do mesmo. No entanto, tal conclusão é somente em parte verdadeira, pois dependeria do “estado” que se encontrasse tal sistema, ou, em outras palavras do seu *número de Reynolds*. Os efeitos dinâmicos e a turbulência que se observam, por exemplo, num fluido, quando um fluxo lamelar é perturbado por um obstáculo são de tal *complexidade*, que segundo o anedotário científico, em seu leito de morte, o físico Werner Heisenberg teria duvidado, que o Criador seria capaz de esclarecê-lo, em relação aos fenômenos da turbulência, como foi citado na seção (3.2.5). Entretanto, apesar de parecerem aleatórios, os movimentos de um fluido seguem padrões de comportamento, que vistos no espaço de fase correspondente, obedecem “órbitas” nunca repetidas, mas confinadas numa região do espaço-momento, jamais invadindo “áreas proibidas”, obedecendo aos chamados “*atratores estranhos ou fractais*”, principais imagens de divulgação da teoria do Caos. Essa teoria permite que uma dada desordem na natureza possa ser explicada, ou reordenada, por meio desses *atratores*. Se o sistema sócio-econômico puder ser representado, por exemplo, como um sistema de *equações de diferenças* logístico, como o descrito na seção (3.3.8), o “*trilho de bonde*”, citado por Joan Robinson e a tendência ao equilíbrio, poderiam estar associados aos estados de um determinado “*atrator*”. Um possível objetivo a ser perseguido, que transcende o escopo desse trabalho, será analisar a existência de outras possíveis trajetórias associadas às variáveis macroeconômicas estudadas e assim compor a figura do *atrator* nesse sistema. O interesse na construção desta figura reside não apenas na análise das infinitas órbitas possíveis, mas principalmente na investigação das razões da existência de certas *regiões proibidas*, delimitadas no *espaço de fase*. Para tanto, uma das primeiras aproximações a ser explorada é reescrever as equações diferenciais do problema *presa-predador* ou mesmo a *equação logística de diferenças*, com outros termos,

por exemplo, termos dissipativos, enriquecendo assim, as soluções do problema, ou então através do estudo dos parâmetros associados às citadas equações poderão mostrar eventuais soluções ou órbitas do sistema econômico, que não foram ainda observadas.

A abordagem escolhida para o desenvolvimento do tema central dessa tese foi fundamentalmente *não-microscópica*, sob a ótica da teoria da *complexidade*, que permeia e descreve teoricamente, diversos tipos de *sistemas não-lineares*, nos mais variados campos do conhecimento. Fazendo mais uma analogia, seria como olhar o problema dos ciclos econômicos, com um binóculo ao contrário, ao invés de observá-lo com um microscópio, que é o enfoque tradicional. Dentre os sistemas classificados como *complexos*, entendendo-se por essa classificação, a propriedade de apresentarem, sob certas condições, características dinâmicas semelhantes, o paradigma continua sendo, desde o princípio, o comportamento multifacetado e exuberante dos fluidos. Nesse sentido, fugindo da abordagem tradicional dos problemas macroeconômicos, foram levantadas no decorrer desse trabalho, diversas propriedades daquele rico sistema físico, que são comuns ou similares aos encontrados em sistemas sócio-econômicos, procurando dessa forma justificar, a utilização de *equações diferenciais e de diferenças não-lineares*, bem como um modelo empírico de previsão do produto interno bruto, objeto principal dessa tese.

O modelo *presa-predador* justificou qualitativamente, tanto a tendência de queda da produtividade do capital, em determinadas circunstâncias, quanto o comportamento cíclico, em sistemas econômicos, em particular o chamado ciclo de *Juglar*, associado às taxas de investimento da economia e, a partir desse modelo, determinou-se, analiticamente, o período dessa flutuação, para o caso brasileiro, bem como explicou a defasagem observada entre a capacidade produtiva e o produto interno bruto. Este modelo explica, também, os “alongamentos” dos períodos dos ciclos, em função da queda nos investimentos, observada nos últimos anos, bem como oferece uma alternativa de cálculo da depreciação do estoque de capital. Além disso, localizou razoavelmente os “vales” e os “picos” das flutuações, mostrando que tais fenômenos podem ter sua origem explicada, em parte, através desse tipo de mecanismo, tão bem quanto o modelo de ciclos de Kalecki. A questão, que merece uma investigação maior, é em relação à

equivalência entre essas duas descrições teóricas: seriam os mesmos fenômenos ou processos de natureza distinta, que se superpõem, produzindo um movimento oscilatório final? Outra questão não resolvida, teoricamente, se refere ao comportamento crescente, concomitante ao oscilatório da economia, que forneceria, eventualmente, outra vertente investigatória. Seria a pesquisa de outras funções e mecanismos “microscópicos” para a variável *investimento*, como a fazem os outros modelos econômicos tradicionais, na equação diferencial relacionando o *estoque de capital*, abordada neste trabalho de forma simplista, dentro do contexto da “inevitabilidade” do crescimento desta variável.

O modelo empírico da seção (3.3.7), cuja discussão se dá no capítulo 4, seção (4.2), tem como objetivo reproduzir comportamento da série histórica da relação PIB/estoque de capital, através de duas equações diferenciais (3.3.7.3) e (3.3.7.4), traduzindo os efeitos oscilatório e o de longo prazo. Seria demasiada pretensão esperar que *toda a realidade macroeconômica* fosse descrita de forma tão simplificada e ingênua. Entretanto, como foi mostrado estatisticamente, grande parte do comportamento real, cerca de 83% dos pontos “históricos” pode ser reproduzido pela solução das equações acima, numa faixa de 5% de variância, num período razoavelmente longo. Os resultados mostram uma tendência cíclica de cerca de 8,5 anos para a atividade econômica, estando os anos finais deste quarto de década nos pontos mínimos da oscilação. Por esse modelo empírico e com 83% de probabilidade de ocorrência, dificilmente o ano de 1999 terá crescimento positivo para o PIB, exceto se ocorrer algum fato novo, como a entrada de capital externo, ou se os responsáveis pela condução econômica do país, antevendo também, essa perspectiva, tomem medidas neutralizando a tendência “natural” dos acontecimentos negativos. Sobre isto, o ex-ministro Delfim Netto declara<sup>2</sup>:

*“A idéia de que o futuro está contido no passado é uma idéia que tem sido utilizada pelos economistas para suas projeções. Mas as séries econômicas não são ergóticas, de maneira que essas previsões não têm o menor sentido. O que vai ser o futuro depende de nós, do governo, da política econômica, de como caminha o mundo, de como os mercados vão funcionar.”*

E, também, R. Heilbroner<sup>3</sup>:

---

<sup>2</sup> Em [Jornal do Economista, p.8, Dez/99].

<sup>3</sup> [p.294, op. cit., (1996)].

*“O capitalismo tornou-se mais opulento, porém, como consequência, tornou-se menos auto-regulador. A ordem é cada vez mais imposta fora do sistema, em vez de surgir de dentro dele. [...] O capitalismo moderno, “organizado”, não pode mais depender das forças espontâneas do mercado para garantir sua operação em ordem. Enquanto as leis de comportamento podiam ser discernidas atuando no sistema, a economia podia ser uma busca passiva, quase uma contemplação distanciada do funcionamento da sociedade.”*

A seção (4.3) é dedicada à uma análise *ex-post* de resultados do modelo de previsão MEDEE, realizados no final da década de setenta, tendo o autor desta tese participado como co-autor. O modelo de ciclos econômicos aplicado em 1980 justifica, com certo atraso, a hipótese de crescimento do PIB, assumida àquela época, mas é incapaz de prever dois fenômenos que ocorreram posteriormente: a queda da produtividade do capital e a queda expressiva dos investimentos. A análise mostrou, também, que o MEDEE estava com uma estrutura contábil, bastante ajustada à realidade, pois, quando se substitui o crescimento do PIB utilizado pelo valor efetivamente realizado, obtém-se uma previsão, coincidente com o valor realmente observado, para os setores produtivos. Para o setor residencial, a previsão original fornece um valor razoável, comparado com o realizado, uma vez que, neste caso, o PIB não tem influência direta nos cálculos.

Outro resultado, examinando a série histórica de  $Y/K$ , é a constatação do decréscimo desta relação, implicando numa queda da *produtividade do capital*, tendendo a um valor cada vez menor, no longo prazo, observado também em outros países<sup>4</sup>. Tal comportamento pode ser devido ao deslocamento do trabalho pelo capital, na função de produção, a partir do final da 2ª guerra, apontado por Celso Furtado em [FURTADO, (1974)]. Esses resultados fazem lembrar e remetem, de imediato, aos velhos paradigmas naturalista/histórico-determinista/newtonianos dos clássicos e neo-clássicos anglo-saxões, sobre a sociedade pressionada pela crescente expansão demográfica, submetida à lei dos rendimentos decrescentes, levando o sistema a um estado estacionário ao nível da miséria, como preconizavam Malthus, James Mill, Mc Culloch, John Stuart Mill e outros. O Brasil atual, certamente seria um país citado, tanto pelos clássicos anglo-saxões, quanto por Marx, para validar suas teses.

---

<sup>4</sup> [Tabela (3.3.7.2), p. 161].

O desenrolar do estudo trouxe à tona antigas discussões teórico-filosóficas sobre o chamado *determinismo* e *previsibilidade*, não apenas nas ciências da natureza, mas também nas relações e sistemas sociais. No primeiro, chegou-se à conclusão que, mesmo em sistemas *newtonianos* clássicos, descritos por *equações diferenciais não lineares*, a *previsibilidade* da dinâmica das variáveis componentes, está comprometida em virtude da SCI - sensibilidade às condições iniciais. Essa propriedade, ao invés de representar um fato negativo, favoreceu a posição e a tese *naturalista*, para o sistema econômico, uma vez que esta abordagem não mais apresentava a rigidez de uma solução única, determinística, ou *trilhos de bonde*, mas sim uma gama riquíssima de soluções, umas aparentemente aleatórias, outras, bem comportados estados de equilíbrio. Escreve Ilya Prigogine<sup>5</sup>:

*“As recentes ciências da complexidade negam o determinismo; insistem na criatividade em todos os níveis da natureza. O futuro não é dado. O grande historiador francês Fernand Braudel escreveu: “Eventos são poeiras”. Isso é verdade? O que é um evento? Uma analogia com “bifurcações”, estudadas na física do não-equilíbrio, surge imediatamente. Essas bifurcações aparecem em pontos especiais, nos quais a trajetória seguida por um sistema se subdivide em “ramos”. Todos os ramos são possíveis, mas só um deles será seguido. No geral não se vê apenas uma bifurcação. Elas tendem a surgir em sucessão. Isso significa que até mesmo nas ciências fundamentais há um elemento temporal, narrativo, e isso constitui o “fim da certeza”.”*

A caracterização de sistemas sociais como *complexos*, portanto *sensíveis às condições iniciais*, permite negar o procedimento falacioso, muitas vezes empregado, de se comparar diferentes economias ou de se tomar um dado país como exemplo a ser seguido. Mesmo considerando países muito semelhantes, basta uma diferença mínima inicial, para que o desenrolar de suas economias se dêem por caminhos totalmente distintos. Essa mesma propriedade alerta, também, para o fato de que ações ou políticas econômicas, nem sempre produzem os efeitos “lineares” esperados, podendo, mesmo, resultar em fenômenos contrários aos desejados.

A análise através da equação de diferenças logística na seção (3.3.8) mostrou também o preocupante desenrolar da série de  $(Y/K)$ , tendendo ao ponto fixo de equilíbrio nulo, através da observação dos valores do parâmetro  $a$ . Entretanto, essa mesma análise do parâmetro  $a$ , cujo

---

<sup>5</sup> Em [Folha de São Paulo, Mais!, p.6, (30/01/2000)].

valor histórico se encontra ao redor da unidade, leva à conclusão de que o sistema econômico estudado mantém confortável distância de regiões *caóticas* e imprevisíveis, permanecendo, ao contrário, em regiões perigosas de *calmaria*, no que é conhecido como *bacia de atração*, similar ao fenômeno associado à uma esfera em movimento, espiralando rumo ao fundo de uma superfície côncava.

A questão sempre presente em todos os trabalhos sobre macroeconomia está relacionada à dificuldade de obtenção de dados históricos estatisticamente confiáveis e séries temporais construídas de forma metodologicamente homogêneas. A citada crítica de Charles Peirce, na seção (3.1), sobre a precariedade da precisão e qualidade dos dados experimentais da Física, no final do século passado, se aplicam à economia, nos dias atuais, em se tratando da contabilização e a forma de se agregar informações, principalmente em países não desenvolvidos. Além disso, a hipótese que foi adotada no modelo empírico desenvolvido neste trabalho, a de se dividir “teoricamente” o estoque de capital em duas parcelas, responsáveis respectivamente pelas suas “produções”, é uma hipótese empírica *não falseável*, como o são todas as hipóteses no campo da sócio-economia, no sentido mencionado no Capítulo 1. A melhora na qualidade e desagregação dos dados, poderia provavelmente, aumentar o grau de confiabilidade nas estatísticas pertinentes ao estudo, melhorando a qualidade das “evidências”. Entretanto, a comprovação estatística dessa hipótese dependerá de outras “molduras” explicativas, criando novos “nichos fatuais”, ou seja, estabelecendo novas *alteridades*, a cercar os limites e condições de validade da teoria. Isso poderá se constituir, como um tópico a ser explorado em pesquisas futuras.

O epílogo desse trabalho é feito com uma citação extraída do *prefácio* do livro de Wesley Clair Mitchell, *Business Cycles and Their Causes*, traduzido como *Os Ciclos Econômicos e suas Causas* [MITCHELL, (1984)], cuja versão primeira tem sua origem no início deste século e se constitui numa das obras pioneiras sobre os *ciclos de negócio*. A escolha dessa citação não foi por acaso. Embora esse trabalho esteja sendo concluído, praticamente no fim deste século, a intenção não é fazer uma paráfrase dessa obra, invertida no tempo, mas documentar e salientar o caráter ergódico e cíclico do “*Eterno Retorno*” do sistema econômico, que foi um dos temas principais abordado no decorrer dessa tese:

*“[...] entretanto, a teoria dos ciclos de negócio não deve ser posta de lado, só porque não atende a exigências ideais: os objetivos da teoria científica são satisfeitos por explicações que estão longe de atingir uma perfeição radical. Para orientação das atividades individuais e da própria legislação, seria muito interessante se pudéssemos distinguir, dentro do emaranhado das seqüências dos fenômenos econômicos, alguns que fossem substancialmente uniformes. Isso porque, com grau de confiabilidade que depende da regularidade com que ocorrem, essas seqüências poderiam servir para previsão do futuro imediato das transações econômicas. Poderiam também servir como referência para organizarmos nosso conhecimento acerca das seqüências variáveis, e como um ponto de partida da pesquisa de novas uniformidades. Tais seqüências regulares nos ajudariam a organizar a massa emaranhada dos fatos, observados pelo exame direto, em grupos coerentes. Esses grupos estimulariam a imaginação a desembaraçar várias linhas de conexão causal, embaralhadas nos anais das transações econômicas e nos quadros estatísticos. Poder-se-ia então verificar que as irregularidades de outras seqüências surge de combinações variáveis de seqüências que, em si mesmas, são regulares.”*

## Bibliografia:

- ABRAHAM-FROIS G., BERREBI E., *Instabilité Cycles Chaos*, Ed. ECONOMICA, Paris, (1995).
- ADELMAN A. M., *Energy Coefficient and Ratio: their Use and Abuse*, Energy Economics, nº1, (1980).
- AFTALION A.; *Les Crises Périodiques de Surproduction*; Revue d'Economie Politique, vol.II; Paris; (1913).
- ALÉM A.C., GIAMBIAGI F., PASTORIZA F., *Cenário Macroeconômico: 1997-2002*, Textos para Discussão nº 56, BNDES, (1997).
- ANDERSON W. P., ARROW J. K., PINES D., editores *The Economy as an Evolving Complex System Proceedings Workshop*, Santa Fe, New Mexico, Addison-Wesley Pub. Co., Inc., (1988).
- ANDRADE P. R., *Expectativas, incerteza e instabilidade no Capitalismo: uma abordagem a partir de Keynes*; Revista de Economia Política, vol. 7, nº 2, abril/junho (1987).
- ARAÚJO L. J., *Modelos de Energia para Planejamento*; Tese p/ Titular COPPE/UFRJ, (09/1988).
- ARNOLD V.I., *Teoria da Catástrofe*, Ed.da UNICAMP, (1989).
- BANCO CENTRAL DO BRASIL, *Relatórios Anuais*, Brasília/DF, diversos anos.
- BARTOLI H., *L'Economie, Service de la Vie*; ISMEA - Presses Universitaires de Grenoble, (1996).
- BEDDINGTON J. R., FREE C. A., LAWTON J. H., *Dynamic complexity in predator-prey models framed in difference equations*, Nature, vol 255, May 1 (1975).
- BENEDICT R., *O Crisântemo e a Espada - Padrões da Cultura Japonesa*, Coleção Debates, Ed. Perspectiva, SP, (1972).
- BENHABIB J. ed., *Cycles and Chaos in Economic Equilibrium*; Princeton University Press, New Jersey, (1992).
- BERGÉ P., POMEAU Y., DUBOIS-GANGE M., *Dos Ritmos ao Caos*, Ed. UNESP, (1996).

- BIELSCHOWSKY R., *Os Investimentos Fixos na Economia Brasileira nos anos 90*, Conv. CEPAL/IPEA, vol. I, (1998).
- BLAUG M., *A Metodologia da Economia*, Gradiva Publicações, Lisboa, Maio (1994).
- BOLDRIN M., WOODFORD M., *Equilibrium Models Displaying Endogenous Fluctuations and Chaos: A Survey*, em [BENHABIB, (1992)].
- BOURDIEU P., *A Ciência do Real - entrevista*, caderno mais!, Folha de S. Paulo, (7/2/99).
- BOYCE W.E., DiPRIMA R.C., *Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno*, LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A., RJ, (1998).
- BOYER R., PETIT P., *Progrès technique, croissance et emploi*, Revue économique, novembre, (1981).
- BROOKES G. L., *Energy and Economic Growth*, Atom, nº 183, Jan. (1972).
- BURLAMAQUI L., FAGUNDES J.; *Keynes, Schumpeter e Política Industrial*; ARCHÈ, ano II, nº 6, (1993).
- CALABRESE O., *A Idade Neobarroca*, edições 70, Lisboa, (1987).
- ÇAMBEL A. B., *Applied Chaos Theory: a paradigm for complexity*; Academic Press, CA, (1993).
- CARVALHO J. C., *Estimativas do Produto Potencial, Relação Capital/Produto e Depreciação do Estoque de Capital*, Textos para Discussão nº 44, BNDES/PNUD, (1996).
- CEE/ESP, *Cenários de Demanda e Investimentos em Energia para o ano 2000, no Estado de São Paulo*, Conselho Estadual de Energia do Estado de São Paulo, SP, nº 620.9.003, (1986).
- CERVANTES S. M., *Dom Quixote de La Mancha*, SP, Abril Cultural, (1978).
- CHATEAU B., LAPILLONE B.; *La Prévision a Long Terme de la Demande D'Énergie - Propositions Methodologiques*, Ed. du Centre Nat. de la Rech. Scient.15, Paris (1977).
- \_\_\_, et alii, *La Demande D'Énergie Finale de la France a l'Horizon 2000*, IEJE, ER nº 94 du CNRS, Mars (1979).
- CINI M., *Un Paradiso Perduto Dall' Universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*, Ed. Feltrinelli, Milano, febbraio (1994).
- CLARK C. W., *Mathematical Bioeconomics*, 2º Ed., John Wiley & Sons, Inc., NY, (1990).

- CLARK J.M.; *Business Acceleration and the Law of Demand: a technical factor in economic cycles*; Journal of Political Economy; (1917).
- COHEN J., STEWART I., *The collapse of Chaos*, Penguin Books, NY, (1994).
- COINTET de O., *Le cycle économique*, odecointet@hotmail.com, (1997).
- COYLE R. G., *Management System Dynamics*, John Wiley and Sons, London, 1978.
- CONTAS NACIONAIS DO BRASIL - *Conceitos e Metodologia*, Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas, (1972).
- CRUTCHFIELD J.P. et alii, "Chaos", Scientific American, 256 (6), 46, (1986).
- D'HUMIERES, BEASLEY M. R., et alii, *Chaotic states and routes to chaos in the forced pendulum*; Phis. Review A, vo. 26, nº 6, Dec. (1982).
- DAMÁSIO J., *Teoria Econômica e a Teoria do Caos*, em SILVEIRA, (1995).
- DE MASI D., *A Emoção e a Regra - Os grupos criativos na Europa de 1850 a 1950*, Ed. UnB, José Olympio Ed., (1999).
- DENDRINOS D.S., SONIS M., *Chaos and Socio-Spatial Dynamics*, Springer-Verlag, (1990).
- DIESP, *Indicadores*, nº 73, FUNDAP, SP, jul/ago, (1999).
- DORNBUSCH R., FISCHER S., *Introdução à Macroeconomia*, Eds. MAKRON/McGraw Hill, (1992).
- EISNER R., *Capacidade, Investimento e Lucros*, em [SHAPIRO, (1985)].
- ELETROBRÁS/MME, *Plano de Atendimento aos Requisitos de Energia elétrica até 1995*, Relatório de mercado, (1979).
- FAUSTINO S., *Wittgenstein O EU E SUA GRAMÁTICA*, Ed. Ática SA, SP, (1995).
- FERRARA N. F., PRADO C. P. C., *Caos uma Introdução*, Ed. Edgar Blücher Ltda, (1995).
- FEYNMAN R. P., et alii, *The Feynman Lectures on Physics*, vo.2, Addison-Wesley Publ. Co., (1963).
- FISHLOW A., *Origens e Consequências da Substituição de Importações no Brasil*; Estudos Econômicos, vol.2, nº6, FIPE/USP, (1972).
- FORRESTER W. J.; *Industrial Dynamics*; The MIT Press; Cambridge, Massachusetts;

(1961)

- \_\_, *Principles of Systems*, Wright Aliens Press, Cambridge, (1968).
- \_\_, *World Dynamics*, MIT Press, Cambridge, (1964)
- FUKS S., *Acaso e Determinismo: Paradigmas de uma Antiga Questão*, em [SILVEIRA, (1995)].
- FURTADO C., *O Mito do Desenvolvimento Econômico*, Círculo do Livro, SP, (1974).
- \_\_, *Que moratória?*, Folha de São Paulo, mais! 5, p.5, (24/01/1999).
- GALBRAITH K.J., *O Novo Estado Industrial*, Nova Cultural, Ed. Abril, SP, (1985).
- GARDNER A., *Teoria Macroeconômica*, Livraria Pioneira Editora, SP, (1978).
- GEORGESCU - ROEGEN N., *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass., (1971).
- \_\_, *Desenvolvimento Econômico e Entropia*, FGV - SP, ECON-L-83 (E306), (19/08/1975).
- GIAMBIAGI F., PASTORIZA F., *Modelos de Consistência Macroeconômica*, Textos para Discussão, nº 52, BNDES, (1997).
- GLEICK J., *Caos a Criação de uma Nova Ciência*, Ed. Campus, (1989).
- GLEISER M.; *A Dança do Universo, dos Mitos de Criação ao Big-Bang*, Ed. Cia das Letras, São Paulo (1997).
- \_\_, *A física, o futebol e o anti-reducionismo*, caderno FolhaMais, Folha de SP, (27/12/1998).
- \_\_; *O mistério gravitacional e as perguntas da ciência*, caderno FolhaMais, Folha de SP, (28/02/1999).
- GOLDEMBERG J., et alii, *Projeções da Demanda de Energia Paulista para o Ano 2000 através do Método MEDEE*, Estudos Econômicos, FIPE-USP, vol. 16, nº3, (1986).
- GOLDSTEIN H., *Classical Mechanics*; Addison-Wesley Pu. Co., Inc., (1966).
- GUELLEC D., RALLE P., *Les nouvelles théories de la croissance*, Ed. La Découverte, Paris, (1996).
- GUERRA S. M. G., *Um modelo macroeconômico aplicado na avaliação de impactos ambientais*, relat. FAPESP, proc.97/5909-2, julho (1998).

- HABERLER G.von; *Prosperity and Depression*; Readings in Business Cycle Theory - American Economic Association. Philadelphia, (1944).
- HARROD R.F.; *The Trade Cycle: An Essay*; Oxford Press (1936).
- \_\_; *Toward a Dynamic Economics*; Oxford Press; (1948).
- HEILBRONER R., *Elementos de Macroeconomia*, Zahar Ed., RJ, 3° ed., (1972).
- \_\_, *A História do Pensamento Econômico*, Ed. Nova Cultural, SP, (1996).
- HICKS J.R.; *Mr. Harrod's dynamic theory*; Economica; (1949).
- \_\_; *Valor e Capital*, São Paulo, Ed. Abril, (1987)
- \_\_; *Perspectivas Econômicas*, R. J., Ed. Zahar, (1977).
- HOFSTADTER D., *Fluid Concepts and Creative Analogies*, Harper Collins Pub., NY, (1995).
- HOLLAND, E. P. et alii, *Experiments on a simulated underdeveloped economy: development plans and balance of payments policies*, MIT Press, Cambridge, 1963.
- HOOK S., *Determinismo e Liberdade na Era da Ciência Moderna*; Ed. Fundo de Cultura Brasil, Copyright NYU (1958).
- HUBERMAN B. A., et alii, *Noise phenomena in Josephson junctions*, Appl. Phys. Lett. 37(8), 15/10/(1980).
- IBGE, *Sistema de Contas Nacionais consolidadas, série Relatórios Metodológicos, vol.8, RJ, (1990)..*
- INDICADORES DIESP, n°73, vol. 8, julho/agosto (1999).
- IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; *Modelos de Avaliação de Demanda de Energia para o ESP*; Relatório IPT/DES n° 24.202/86; Agosto 1986.
- JOHNSON H.G.; *O Modelo Neoclássico de Crescimento de um Setor: Uma exposição Geométrica*, em [SHAPIRO, (1985)].
- JUHAS J.L., *Dados econômicos da Divisão de Mercado da CESP*, SP, (1998).
- KAFKA F., *A Colônia Penal*, Livraria Exposição do Livro, Graf. Urupês, SP, (1965).
- KALECKI M., *Teoria da Dinâmica Econômica*, col. Os Pensadores, Abril Cultural, SP, (1978).

- KAMIMURA A., *Um Cálculo de HFB com emparelhamento generalizado*, Dissertação de Mestrado, Instituto de Física da USP, (1973).
- \_\_, HUSSEIN S. M., CHEN T. H., *Rotações nucleares com altos momentos angulares*, XXVI Reunião Anual da SBPC, Recife, Julho de 1974, Suplemento Ciência e Cultura, vol.26, no.7 (1974),49.
- \_\_, CHEN T. H., *Um modelo de fonons de emparelhamento com interação*, XXVIII Reunião Anual da SBPC, Brasília, Julho de 1976, Suplemento Ciência e Cultura, vol.28, no.7 (1976), 56.
- \_\_, CHEN T. H., *Um novo método de cálculo de camadas com estados de senioridade zero*, XXVIII Reunião Anual da SBPC, Brasília, Julho de 1976, Suplemento Ciência e Cultura vol.28, no. 7 (1976),56.
- \_\_, *On the calculation of Nuclear Moment of inertia with generalized pairing*, Lettere al Nuovo Cimento, vol.17, no. 14 (1976).
- \_\_, *Variational Approach for the Charge Independent Pairing Hamiltonian*, Lettere al Nuovo Cimento, vol.22, no. 13 (1978).
- \_\_, *Approximate Solutions for General Pairing Hamiltonian by variational method*, Lettere al Nuovo Cimento, vol.21, no. 9 (1978).
- \_\_; *Um Modelo de Dinâmica de Sistemas para o Carvão Brasileiro*; CESP; Relatório interno; (1979).
- \_\_, *Adaptação do MEDEE ao Brasil*, coletânea do II Seminário Latino-Americano sobre Previsión de Demanda de Energía a Largo Plazo, Caracas, Venezuela, Jan/Março (1985).
- \_\_ et alii.; *Previsões de Consumo de Energia - Uma avaliação Metodológica*; anais do XIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Camboriú, SC; (1995).
- KEYNES J. M., *A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda*, SP, Ed. Atlas, (1992).
- KNOX A.D.; *O Princípio da Aceleração e a Teoria do Investimento: um Levantamento*; em [SHAPIRO, (1985)].
- KOEHLER C. B. G.; *Maxwell e a exorcização do demônio de Laplace*; em [SILVEIRA, (1995)].
- KREGEL J., *Kregel não descarta risco de uma depressão mundial*, Jornal do Economista, Março (1999).
- KURZ, R., *A expropriação do tempo*, caderno Mais!, Folha de S. Paulo, (03/01/1999).

- \_\_, O homem reduzido, caderno Mais!, Folha de S. Paulo, (03/10/1999).
- LANDAU L. e LIFSCHITZ E., *Mécanique des Fluides*, Moscou, Ed. Mir, (1990).
- LAPILLONE B., *Medee 2: A Model for Long-Term Energy Demand Evaluation*, RR-78-17, IIASA, Laxenburg, Austria, November (1978).
- LATOUR B., *O curto-circuito da economia*, caderno Mais!, Folha de São Paulo, (7/2/99).
- LATTÈS R., JEANBLANC A., *Croissance économique, besoins d'énergie et économies d'énergie*, RGN, nº1, (1982).
- LEITE M., *A polêmica interna*, caderno Mais !, Folha de S. Paulo, (13/12/1998).
- T. Y. e YORKE, J. A. "Period three implies chaos". *Amer. Math. Monthly*, 82 (1975), pp. 985-992.
- LORENZ E. N, *Deterministic non-periodic flow*, *J. Atmos. Sci.*20 (1963) 130-141.
- \_\_, *A Essência do Caos*, Ed. UnB (1996).
- LUCAS R. E., *On the Mechanics of Economic Development*, *Journal of Monetary Economics*, nº 22, (1988).
- MAINGUY Y., *L'économie de l'énergie*, Dunod, Paris, (1967).
- MALINVAUD E., *Voies de la recherche macroéconomique*, Éditions Odile Jacob, Paris, (1991).
- MANNE A.S., *ETA-MACRO: A Model of Energy-Economy Interactions*, EPRI EA-592, Project 1014, Palo Alto, CA, December (1977).
- MARSHALL A., *Princípio da Economia*, R. J., Epasa, cap.1, (1946).
- MARX K., *O Capital*, São Paulo, Ed. Abril, (1982).
- MAY R. M., *Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics*; *Nature*, vol. 261, June 10 (1976).
- MEADOWS D., *Toward Global Equilibrium: Collected Papers*, Wright Alien Press, Cambridge, 1972.
- \_\_ (org.), *Limites do Crescimento*, Perspectiva, São Paulo, 1973.
- MELLO L.E. de A.M., "Amanhã eu faço", Folha Mais!, FSP, 03/01/1999.

- MITCHELL, W. C., *Os Ciclos Econômicos e suas Causas*, SP, Abril Cultural, (1984).
- MME/Ministério das Minas e Energia, *Relatórios Anuais de Atividades* da, BEN, ELETROBRÁS, da PETROBRÁS, do Departamento Nacional dos Combustíveis/DNC, do antigo Conselho Nacional do Petróleo/CNP, Brasília/DF, diversos anos.
- MME/SETEC, *Energy System Analysis and Planning for Brazil*, Brasília, DF, CDO-620.9(81)(083.9), (1984).
- MOREIRA I.C., *Os Primórdios do Caos Determinístico*, em [SILVEIRA, (1995)].
- MORIN E., *O Problema Epistemológico da Complexidade*, Publicações Europa-América, LDA, Portugal, (1996).
- MOTTA F. C. P., *Teorias das Organizações - Evolução e Crítica*, SP, Ed. Pioneira, (1980).
- OLIVA A., *Incerteza Epistemológica: a crise do modelo clássico de formação e avaliação de teorias*, em [SILVEIRA et alii.,(1995)].
- OSADA J., *História da Ciência*, apost. curso IFUSP, (1969).
- OZÓRIO de ALMEIDA A., *Sistemas Hamiltonianos: Caos e Quantização*, São Paulo, Editora da UNICAMP, (1995).
- PASSET R., *La Thermodynamique d'un Monde Vivant: Des structures dissipatives à l'Economie*, Futuribles, nº 39, Dec.(1980).
- \_\_, *L'Économique e le Vivant*, Ed. Economica, Paris, (1996).
- PAGELS, H., *The Dreams of Reason*, New York: Simon and Schuster, (1988).
- PAOLI D.L., *Dispense di Economia dell'Energia*, IEFE – Istituto di Economia delle Fonti de Energia, Milano, (1990).
- PAWEL E., *O Pesadelo da Razão: uma biografia de Franz Kafka*, Imago, RJ, (1986).
- PEITGEN H. O., JÜRGENS H., SAUPE D., *Chaos and Fractals New Frontiers of Science*, Springer-Verlag NY, (1992).
- PEREIRA B. L., *Tendência Declinante da Taxa de Lucro e Progresso Técnico*, Revista de Economia Política, Brasiliense, vol.6, nº4, out-dez (1986).
- PINHEIRO A., MATESCO V., *Relação capital/produto incremental: estimativa para o período 1948/87*, Pesquisa e Planejamento Econômico, RJ, v.19, nº3, (1989).
- PINTO F. S. L., *Transbordar é preciso*, Conjuntura Econômica, Janeiro (1999).

- POINCARÉ H., *O Valor da Ciência*, Contraponto Ed. Ltda, RJ, (1995).
- POPPER K. R., *Escritos Selectos*, Fondo de Cultura Económica, Mexico DF, (1995).
- PRADO L.T.S., KAMIMURA A. et alii, *A utilização do modelo MEDEE na avaliação da demanda de energia no Brasil*, Estudos Econômicos, FIPE, nº especial, pp.161-180, Set.(1981).
- PRIGOGINE I., *La fin des certitudes, em Temps, chaos e les lois de la Nature*; Ed. Odile Jacob, Paris, Jan.(1996).
- PUISEUX L., *Méthodes de Prévision de consommation à Moyen et Long Terme*, UNIPEDE, Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique (1972).
- REIS J., *Manuscritos mostram Pitágoras como o primeiro experimentalista*, caderno Mais!, Folha de S. Paulo, (7/2/99).
- RICARDO D., *Princípios da Economia Política e Tributação*, São Paulo, Abril Cultural, cap.12, (1982).
- ROMER P., *Increasing Returns and Long Run Growth*, Journal of Political Economy, 94, (1986).
- ROSA PINGUELLI. L., *A Aplicação de Conceitos, Paradigmas e Métodos da Física à Economia*, em [SILVEIRA, (1995)].
- ROSENBERG N., *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press, (1982).
- RUTH M., HANNON B.; *Modeling Dynamic Economic Systems*; NY Springer-Verlag; (1994).
- RUELLE D., *Acaso e Caos*, Ed. Unesp, SP, (1993).
- SAMUELSON P. A.; *A Synthesis of the principle of acceleration and the multiplier*; Journal of Political Economy; (1939).
- \_\_; *Fundamentos da Análise Econômica*; Ed. Nova Cultural; (1986).
- SANDRONI P., *Novíssimo Dicionário de Economia*, Ed. Best Seller, SP, (1999).
- SEN AMARTYA, *Sobre a Ética e Economia*, Companhia das Letras, SP, (1999).
- SCHUMPETER J.A ; *História da Análise Econômica*; Fundo de Cultura; RJ; pp.23, (1964).

- \_\_, *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, Ed. Abril, (1982).
- \_\_, *Business Cycles, A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, Porcupine Press, Philadelphia, (1989).
- SCHWARTZ G., *Cinco razões por que o Brasil vai para trás*, Folha de São Paulo, mais! 5, p.5, 24/01/1999.
- SERRES M., *Luzes - Cinco entrevistas com Bruno Latour*, Unimarco Ed., SP, (1999).
- SHAPIRO E., *Análise Macroeconômica - Leituras Seleccionadas*, ed. Atlas, (1985).
- SILVA T., *Uma síntese das teses centrais de interpretação do ciclo na economia brasileira*, Rev. de Economia Política, vol.6, nº 4, out-dez (1986).
- SILVEIRA M. A., MOREIRA I. C., MARTINS R. C., FUKS S., *Caos, Acaso e Determinismo*, Ed. UFRJ; (1995).
- SIMONSEN H. M.; *Macroeconomia*, vol.1 e 2; APEC Editora S.<sup>a</sup>, (1974).
- \_\_, *Rational Expectations, Game Theory and Inflationary Inertia*, em [ANDERSON, (1988)].
- SMITH A., *The Wealth of Nations*, Oxford Univ. Press, cap.7, (1954).
- SOLOW R. M., *A contribution to the theory of economic growth*, Quarterly Journal of Economics, feb. (1956).
- SPROTT J. C., ROWLANDS G., *Chaos Demonstrations software*, Am.Inst.Physics, NY, (1995).
- STATISTICA, StatSoft Inc., Tulsa, OK 74104, (1997).
- STERMAN. J. D, *Chaos and Hyperchaos in an Experimental Economic System*, in THONSEM,M.J. Chaos and Complexity, Frontieres, Paris,(1993).
- STEWART I., *Será que deus joga dados? A nova matemática do caos*, RJ: Jorge Zahar Ed., (1991).
- SUZIGAN W., BONELLI R. et alii, *Crescimento Industrial no Brasil: incentivos e desempenho recente*, IPEA, RJ,(1974).
- SWAN T. W., *Economic growth and capital accumulation*, Economic Record, nov., (1956).
- TVEDE L., *Business Cycles – From John Law to Chaos Theory*; Harwood Academic publishers, Netherlands; (1997).

- WAJNTAL W., KAMIMURA G., KAMIMURA A., *Um cálculo de Hartree- Fock- Bogoliubov com emparelhamento generalizado para núcleos da camada f7/2*, XXV Reunião da SBPC, Rio de Janeiro, Julho de 1973, Ciência e Cultura, Suplemento vol.25, no.6 (1973), 34.
- WALRAS L., *Compêndio dos Elementos de Economia Política Pura*, São Paulo, Abril Cultural, (1986).
- WALTERS C., *Long-Term Economics Cycles Ignore Short-Term Economic Indicators*; NORM- National Organization for Raw Materials; [www.normeconomics.org/longterm.html](http://www.normeconomics.org/longterm.html), (1998).
- WITTGENSTEIN L., *Tratado Lógico Filosófico*, Fund. Calouste Gulbekian, (1985).

Sup et

tores ob

o sup obriocua e

p alcoraq amu e A. vici

logizna oqmei mu e obri...

## Apêndice A

### A TEORIA DOS CICLOS ECONÔMICOS DE MICHAL KALECKI

[KALECKI M., pp.151-171, (1978)].

O modelo econométrico proposto por Michal Kalecki, para explicar os ciclos econômicos, baseado na idéia de “expectativas de investimento”, foi deduzido a partir da hipótese de que há um atraso entre a decisão de investir e o resultado desse investimento. Para obter a sua famosa “equação do ciclo econômico”, foram feitas algumas simplificações em relação ao caso real, tais como assumir que tanto a balança comercial como o orçamento do govêrno são equilibrados e que os trabalhadores consomem toda a sua renda, ou seja, o investimento é igual à poupança. Isso posto, o nível de atividades econômicas é determinado pelo nível e pela taxa de modificação do nível de investimento em algum instante anterior. Supôs também, que o índice de preços que deflaciona o investimento é idêntico ao que é empregado como deflator do produto bruto do setor privado.

O comportamento cíclico da economia, em Kalecki, tem suas raízes na suposição que o consumo “real” dos capitalistas em um dado ano  $C(t)$ , é igual a uma parte fixa  $A$  e uma parcela  $q$  proporcional a  $P(t-\lambda)$ , o lucro real depois da dedução dos impostos, referido a um tempo anterior, isto é [op.cit., p.92]:

$$C(t) = q \cdot P(t-\lambda) + A \quad (5)$$

onde:

$\lambda$  = representa o atraso da reação do consumo dos capitalistas à mudança de sua renda corrente.

$q$  = é positivo e menor do que a unidade, uma vez que os capitalistas tendem a consumir apenas uma parte do incremento da renda.

$A$  = suposto constante no curto prazo.

Dentro das hipóteses estabelecidas acima, os lucros  $P$ , após a dedução dos impostos, são iguais ao investimento  $I$ , mais o consumo dos capitalistas  $C$ :

$$P = I + C \quad (6)$$

substituindo C pelo seu valor, da equação (5), vem:

$$P(t) = I(t) + q \cdot P(t-\lambda) + A \quad (7)$$

A equação acima mostra que os lucros reais ao tempo t são determinados pelo investimento corrente e pelos lucros no instante (t-λ). Os lucros ao tempo (t-λ), por sua vez, serão determinados pelo investimento àquele tempo e pelos lucros em (t-2λ), e assim por diante. Portanto, os lucros ao tempo (t) serão função linear do investimento ao tempo t, (t-λ), (t-2λ), etc, cujos coeficientes serão 1, q, q<sup>2</sup>, etc, ou seja, cada vez menores. Desse modo, os lucros seguem o investimento com um hiato temporal (ω), ou, escrevendo de forma aproximada:

$$P(t) = f[I(t-\omega)] \quad (8)$$

Após algumas passagens algébricas:

$$P(t) = [I(t-\omega) + A]/(1-q) \quad (8')$$

Essa equação mostra que os lucros são determinados pelas decisões passadas de investir, relacionando essas variáveis intertemporalmente, de forma “determinística” de causa e efeito.

Após exaustivas passagens algébricas Kalecki chega finalmente em sua famosa “equação do ciclo econômico” para i, suposta uma função contínua e diferenciável [op. cit., p. 154]:

$$i(t+\theta) = [a/(1+c)] \cdot i(t) + \mu \cdot [\Delta i(t-\omega)/\Delta t] \quad (23')$$

onde:

i = (I-δ) é o desvio do investimento I em relação à depreciação δ (investimento líquido).

[a/(1+c)] = coeficiente que reflete a influência sobre as decisões de investir exercida pela poupança corrente (a), bem como o efeito negativo do aumento dos equipamentos [1/(1+c)]. É de fundamental importância ressaltar que esse coeficiente é *sempre menor que 1*.

μ = coeficiente composto de dois termos, ambos positivos, um representando a influência da taxa de modificação dos lucros e o outro representando a influência da taxa de modificação da produção.

A equação (23') do ciclo econômico relaciona, portanto, o investimento líquido no instante (t+θ), com o investimento líquido no instante (t) e a variação desse investimento no passado, em (t-ω).

É fácil perceber a natureza cíclica deste investimento líquido  $i$ , em torno do nível de depreciação  $\delta$ , pois:

1.) Instante  $t$ , tal que  $i(t) = 0$ .

1.a-) caso em que  $[\Delta i(t-\omega)/\Delta t] > 0$ . A curva de investimento  $i$  é crescente em  $(t-\omega)$ , tem valor nulo em  $(t)$  e é positivo em  $(t+\theta)$ .

1.b) caso em que  $[\Delta i(t-\omega)/\Delta t] < 0$ . A curva de investimento  $i$  é decrescente em  $(t-\omega)$ , tem valor nulo em  $(t)$  e é negativo em  $(t+\theta)$ .

2.) Instante  $(t)$ , tal que  $[\Delta i(t-\omega)/\Delta t] = 0$ , ou seja, pontos de máximo ou de mínimo da curva de investimento  $i$ . É fácil ver que tal ponto não pode ser de inflexão, uma vez que o investimento  $i$  em  $(t+\theta)$  será uma fração  $[a/(1+c)] < 1$ , do investimento no tempo  $(t)$ .

A análise dos itens 1.) e 2.) acima, traduzem a natureza oscilatória para o investimento  $I$ , em torno do nível de depreciação  $\delta$ .

Essas flutuações do investimento serão acompanhadas por flutuações das rendas, da produção e do nível de emprego. O equilíbrio estático só pode ocorrer se o investimento estiver no nível da depreciação e se, além disso, seu valor não se tiver modificado no passado recente. Uma importante conclusão emerge a partir disso: *supondo (t), o momento presente, ter-se-á flutuações macroeconômicas futuras em (t+θ), mesmo que o investimento no presente se mantenha no nível da depreciação por alguns anos, uma vez que no passado, em (t-ω), ocorreram oscilações no investimento.*

Os coeficientes  $[a/(1+c)]$  e  $\mu$  são de molde a provocar a detenção automática da elevação do investimento na fase de prosperidade e a detenção da queda desse investimento na fase de depressão. As oscilações definidas pela equação (23') podem ser estáveis, explosivas ou amortecidas, dependendo do valor dos coeficientes  $[a/(1+c)]$  e  $\mu$ , e dos hiatos temporais  $\theta$  e  $\omega$ . Se o coeficiente  $\mu$  aumentar enquanto  $[a/(1+c)]$ ,  $\theta$  e  $\omega$  permanecerem inalterados, as flutuações se tornam explosivas; e se  $\mu$  reduzir-se, elas se tornam amortecidas.

Uma das conseqüências analisadas por Kalecki (p.160), a partir dos dados dos EUA, no período de 1929-1940, é a *natureza não linear* entre a variação do estoque de capital e da renda real do setor privado, análoga ao exemplo dado na seção (2.2.2). Suas palavras:

*“[...] conseqüentemente, a amplitude das flutuações do estoque de capital fixo com relação ao seu nível médio será de cerca de 4%, em comparação com os 20% da produção.”*

Outros resultados que foram obtidos da mesma análise foram:

- O efeito multiplicador do investimento sobre a renda. Para uma variação no investimento de  $\Delta I$ , observou-se uma modificação na renda de 2,72 vezes  $\Delta I$ .
- A relativa estabilidade das flutuações com relação a choques externos. Repetindo suas palavras (p.171):

*“ Apesar de esses resultados ainda estarem a exigir uma explicação matemática, o fenômeno em si é virtualmente certo: o ciclo gerado pelos choques com distribuição de freqüência normal apresenta uma estabilidade considerável com relação a modificações na equação básica que envolve acréscimos substanciais do amortecimento. Assim, mesmo com um amortecimento relativamente forte, esses choques geram ciclos bastante regulares. [...] Fica assim eliminada a necessidade de aceitarmos o ciclo explosivo como sendo o padrão geral das flutuações econômicas, o que havíamos considerado em desacordo com a realidade.”*

## Apêndice B - ALGUNS ASPECTOS ENVOLVENDO MODELOS DE CRESCIMENTO ECONÔMICO

A diferença fundamental, entre o modelo teórico apresentado, para descrever as flutuações e outros modelos existentes, como já foi mencionado na Introdução, se repousa no tratamento dado ao mecanismo de acumulação do estoque de capital. Enquanto que no presente modelo, esse mecanismo se baseia na “inevitabilidade natural” do processo de investimento, aqueles procuram os mecanismos “microscópicos”, que aportam ao estabelecimento de como se dá a formação bruta de capital fixo FBCF, ou às outras variáveis explicativas do processo de

crescimento de longo prazo. São apresentados, portanto, alguns aspectos que diferenciam a presente abordagem dos outros modelos.

## B.1. O MODELO KEYNESIANO ELEMENTAR E A ANÁLISE DE HARROD<sup>1</sup>

Keynes chamava a atenção para as dificuldades de se realizar o equilíbrio de pleno emprego, no curto prazo, em virtude da rigidez dos preços e salários, que levariam às flutuações, enquanto que Harrod apontava para as dificuldades de equilíbrio dinâmico no longo prazo, como principal causador dessas flutuações. No modelo keynesiano elementar, no qual a demanda global  $Z$  é a soma do consumo final das famílias  $C$  e da demanda por investimentos  $I$ , pode ser escrita:

$$Z = C + I \quad \text{Equação (B.1.1)}$$

Chamando o produto nacional (= renda nacional) de  $Y$ , a condição de equilíbrio entre a oferta global  $Y$  e a demanda global  $Z$ , se escreve como:  $Y = Z$ . Fazendo a *hipótese* de que o consumo  $C$  é função linear da renda, vem:  $C = cY$ . Além dessa hipótese, assume-se que o investimento é determinado de maneira exógena,  $I = I_0$ . Portanto:

$$Y = cY + I_0 \quad \text{ou} \\ Y = I_0 / (1 - c) = I_0 / s$$

onde  $s$  é a *propensão à poupança* e o termo  $1/(1-c) = 1/s$  é conhecido como o “multiplicador” keynesiano. Quanto maior a propensão ao consumo  $c$ , menor a propensão à poupança  $s$ , portanto, maior a variação da renda, para um investimento fixo  $I_0$ .

A passagem deste enfoque “estático comparativo”, para um enfoque dinâmico, se faz através da introdução de uma *função investimento*, isto é, *endogeneizando* esta variável, que passa a ser determinado pelo próprio modelo. A maneira mais simples e “ingênua” é supor que o investimento  $I$  seja função linear da variação da produção ( $\Delta Y$ ):  $I = \beta \Delta Y$ . Substituindo-se na equação anterior, vem:

$$\Delta Y/Y = s/\beta \quad \text{Equação (B.1.2)}$$

Enquanto que o modelo estático e elementar keynesiano dá o nível do produto nacional, em função do nível de investimento  $I_0$  e da propensão à poupança  $s$ , a equação acima mostra característica dinâmica e fornece os determinantes da taxa de crescimento do produto nacional  $\Delta Y/Y$ , em função da propensão à poupança e do valor do *acelerador*  $\beta$ . Essa taxa de crescimento assegura o equilíbrio do mercado e a igualdade entre a oferta e a demanda; em outras palavras essa relação assegura que a economia se situa sobre a curva IS de um modelo IS-LM truncado, importante na análise de Harrod.

A aparente simplicidade do modelo keynesiano acima, esconde a dificuldade matemática de se satisfazer, simultaneamente, as condições impostas pelo modelo, de forma que não existe uma solução exata, não trivialmente nula. Na prática, para uma dado crescimento ( $\Delta Y/Y$ ), existem infinitas soluções, para  $s=(1-c)$  e  $\beta$ , dependendo do grau de aproximação desejado. A tabela (B.1.1) mostra, para uma variação da renda ( $\Delta Y/Y$ ) constante igual a 3%, em relação a  $Y_1 (=10)$ , os vários pares de valores da propensão ao consumo ( $c$ ) e do acelerador ( $\beta$ ), que satisfazem o equilíbrio ( $Y = C + I$ ), em diferentes graus de aproximação. Estes pares asseguram a igualdade da oferta/demanda, representando os valores para o crescimento em equilíbrio, obtidos de forma iterativa, para os instantes (1) e (2).

TABELA (B.1.1): Valores de equilíbrio ( $c$ ;  $\beta$ ), com diferentes aproximações, para uma variação da renda ( $\Delta Y/Y$ ) constante.

c	beta	Y2 - Y2'	Y2 = I+C	Y1	Y2' = Y1(1+del) I=beta(y2-y1)	C=c.Y2	del=(1-c)/beta	
0,991	0,3	-0,0027	10,2973	10	10,3	0,09	10,2073	0,03
0,992	0,26666667	-0,0024	10,2976	10	10,3	0,08	10,2176	0,03
0,993	0,23333333	-0,0021	10,2979	10	10,3	0,07	10,2279	0,03
0,994	0,2	-0,0018	10,2982	10	10,3	0,06	10,2382	0,03
0,995	0,16666667	-0,0015	10,2985	10	10,3	0,05	10,2485	0,03
0,996	0,13333333	-0,0012	10,2988	10	10,3	0,04	10,2588	0,03

Fonte: Elaboração própria.

A extensão do modelo *keynesiano* de curto prazo foi estendida para o longo prazo por Harrod<sup>2</sup>, cuja análise se baseia nas diferenças entre três taxas de crescimento:

<sup>1</sup> Em [ABRAHAM-FROIS et al, p.5, (1995)].

<sup>2</sup> [HARROD R. F., (1936)].

- 1.) *a taxa de crescimento efetiva*  $g = (\Delta Y/Y)$ , igual à taxa realmente observada, no período em questão, igual a:  $g = s/v$ , uma vez que  $s$  é a propensão média e marginal a poupar, tal que a poupança global  $S$  é função linear da renda,  $S = s.Y$ . O parâmetro  $v$ , representa a intensidade média e marginal de capital  $K/Y = \Delta K/\Delta Y$ , assumido constante. A poupança global, na hipótese de plena utilização de recursos é igual ao investimento  $I = S$  e lembrando que  $\Delta K$ , a variação do estoque de capital é igual ao investimento  $I$ . A taxa de crescimento efetiva  $g$  é, portanto, igual à relação entre a propensão média à poupança e a intensidade de capital.
- 2.) *a taxa de crescimento necessária ou garantida*  $g_w$  ( $w$  se refere a *warranted*, de acordo com a notação de Harrod). Para defini-la é necessário introduzir o conceito de investimento desejado  $I^*$ , que não é, em geral, igual ao investimento realizado  $I$ . Para Harrod,  $I^*$  depende, essencialmente, das expectativas de lucros e do acréscimo da produção  $\Delta Y$ . Uma aproximação funcional para o investimento desejado seria uma relação linear do tipo  $I^* = \beta.\Delta Y$ , que deve ser igual à poupança global  $S = s.Y$ . Portanto:  $I^* = \beta.\Delta Y = s.Y \rightarrow \Delta Y/Y = g_w = s/\beta$ . Essa taxa representa a taxa de crescimento necessária à satisfação dos empreendedores.
- 3.) *a taxa de crescimento natural*  $g_n$ , significando a taxa que a economia deve crescer, afim de evitar o desemprego. No longo prazo,  $g_n$  representa, portanto, um teto de crescimento, que depende do crescimento da população ativa, do capital existente e dos aumentos de produtividade.

A condição de crescimento equilibrado de pleno emprego, nada mais é que a transposição da condição *keynesiana* de curto prazo, isto é, que no longo prazo as tres taxas de crescimento, anteriormente definidas, se igualem:  $g = g_w = g_n$ , ou,

$$s/v = s/\beta = g_n$$

Ou seja, para que haja crescimento equilibrado de pleno emprego, é necessário, portanto, que o crescimento efetivo seja de forma tal, que os empreendedores estejam satisfeitos ( $g = g_w$ ) e, que não haja desemprego ( $g = g_n$ ). Ora, não existe, em princípio, nenhuma razão para que  $v$ , que é um parâmetro essencialmente técnico, traduzindo características da função de produção e

das tecnologias utilizadas, coincida com o parâmetro  $\beta$ , refletindo o comportamento dos empreendedores-investidores e as respectivas exigências em matéria de rentabilidades e lucros. Mesmo assim, supondo que por um milagre da natureza,  $v$  coincida com  $\beta$ , não há, evidentemente, nenhuma razão, para que o equilíbrio sobre o mercado de bens e serviços, assegure também o pleno emprego. Eis a explicação de Harrod da existência do equilíbrio de sub-emprego, isto é, existem taxas de crescimento em equilíbrio associadas a vários níveis de desemprego. Normalmente, a condição de crescimento equilibrado a pleno emprego, isto é, a coincidência das tres taxas de crescimento, não tem nenhuma razão de acontecer, portanto o *desequilíbrio é a regra e não a exceção*. Segundo Harrod, convém distinguir e realçar o seguinte: a decalagem entre a *taxa efetiva*  $g$  e a *taxa necessária*  $g_w$  dão origem aos desequilíbrios de *curto prazo*; a decalagem entre a *taxa necessária*  $g_w$  e a *taxa natural*  $g_n$ , dão origem aos desequilíbrios de *longo prazo*.

## B.2. A ANÁLISE DE SOLOW<sup>3</sup>:: CRESCIMENTO EQUILIBRADO DE PLENO EMPREGO.

Influenciados pelo exuberante comportamento econômico demonstrado pelos países industrializados na década de cinquenta, alguns economistas se propõem a rever as idéias pessimistas de Harrod, na questão do crescimento em equilíbrio de longo prazo, não se dar, necessariamente na condição de sub-emprego. Os principais representantes desta vertente de pensamento é Robert Solow, conhecido através do trabalho, *A contribution to the theory of economic growth*<sup>4</sup>. e T.W. Swan<sup>5</sup>. A análise de Solow se contrapõe à análise neo-keynesiana de Harrod, que aportava para um desequilíbrio inerente ao sistema, em basicamente, dois pontos:

O primeiro, apontado por Solow, como absolutamente fundamental, se refere ao abandono da rigidez dos meios de produção, isto é, a intensidade de capital  $v$ , que ele não considera mais, nem como um parâmetro exógeno, nem constante, podendo variar e assumir valores compatíveis com outros parâmetros, mas que conduza, necessariamente à uma *função*

---

<sup>3</sup> Em [ABRAHAM-FROIS et al, p.12, (1995)] e [GUELLEC D. et al, p.33, (1996)].

<sup>4</sup> Em [SOLOW R.M., (1956)].

<sup>5</sup> [SWAN T.W., (1956)].

*decrecente para o rendimento marginal do capital.* A função de produção não é mais a fatores complementares, mas a fatores substituíveis, que faz com que  $v$  possa variar e assumir valores que permitam o crescimento equilibrado de pleno emprego. Assim, a igualdade  $gn = s/v$  se torna possível, uma vez que  $v$  pode se ajustar a um valor tal que  $v = s/gn$ .

O segundo ponto, se refere à independência das funções de poupança e investimento, assumida por Harrod. Assim, nesta análise a oferta não é necessariamente igual à demanda, o investimento “desejado” não é necessariamente igual à poupança “desejada”; o mercado de bens e serviços não está necessariamente em equilíbrio, o que explica a diferença entre taxas de crescimento efetivo  $g$  e taxas de crescimento necessário  $g_w$ . O modelo de Solow, contrariamente a este modelo, supõe que o investimento vem exclusiva e integralmente da poupança, ou seja, toda poupança gerada é investida e decidida *ex-ante*, de tal forma que a poupança e investimento coincidam, em cada instante. Deste fato, não existe mais independência entre as funções de investimento e poupança, causa básica da instabilidade do modelo de Harrod. Uma representação simplificada deste modelo pode ser feita através de uma função de produção  $Q$ , escrita como:

$$Q_t = F(K_t, N_t, t) \quad \text{Equação (B.2.1)}$$

onde  $Q$  é o nível de produção,  $K$  representa o estoque de capital,  $N$  é o nível de empregados utilizados e  $t$  representa a variável tempo. Por definição, esta função possui uma série de propriedades, para garantir a existência, a unicidade e a estabilidade do ponto de equilíbrio. Algumas destas propriedades são:

- a.) As derivadas primeiras parciais são contínuas, positivas e decrescentes. Esta última, traduz a hipótese assumida, do decréscimo do rendimento marginal do capital.
- b.) É uma função homogênea de grau 1, isto é, se todos os fatores de produção forem multiplicados por um fator, o resultado da produção será também multiplicado por este fator. Como  $F$  é homogênea de grau 1, pode-se escrever a função  $Q = F(K,N)/\text{empregado}$ :  $q_t = f(k_t, 1)$ , onde  $q_t = Q_t/N_t$  e  $k_t = K_t/N_t$ . A função  $f(k_t)$  obedece, por hipótese:
- c.)  $f(0) = 0$ , isto é sem capital, a produção é nula.
- d.)  $f(\infty) = \infty$ , ou seja, a produção não é limitada.
- e.)  $f'(0) = \infty$ , o rendimento marginal do capital é infinito, quando o nível de capital é nulo.

f.)  $f'(\infty) = 0$ , o rendimento marginal do capital é nulo, quando seu nível é infinito, isto é, existe saturação, evitando o comportamento explosivo.

Numa economia fechada, caso tratado neste exemplo, o investimento é por definição igual à fração não consumida da produção, comumente chamada de poupança e a evolução do capital  $dK_t/dt$  é dada pela equação:

$$dK_t/dt = s_t \cdot Q_t - d \cdot K_t \quad \text{Equação(B.2.2)}$$

onde  $s_t$  = fração da produção poupada (portanto, investida) e  $d$  = fração do capital depreciado. A fração  $s_t$  é suposta constante, de forma que:

$$dK_t/dt = s \cdot F(K_t, N_t, t) - d \cdot K_t \quad \text{Equação(B.2.3)}$$

Em seguida, reescrever-se-á a equação acima em termos relativos, *per empregado*. Então:

$$K' = s \cdot N \cdot f(k) - d \cdot K \quad \text{onde } K' = dK/dt \text{ e } f(k) = F(K/N, 1)$$

$$(1/N) \cdot K' = s \cdot f(k) - d \cdot k \quad \text{Equação (B.2.3)}$$

mas,  $(K/N)' = (1/N)K' - K \cdot N'/N^2$  chamando  $n = N'/N$  taxa crescimento do número de empregados,

$$\text{vem: } (1/N)K' = (K/N)' + K \cdot n/N = k' + k \cdot n \quad \text{substituindo na equação (B.2.3), vem:}$$

$$k' + k \cdot n = s \cdot f(k) - d \cdot k \quad \text{ou,}$$

$$dk/dt = s \cdot f(k) - (d + n) \cdot k \quad \text{Equação (B.2.4)}$$

A hipótese econômica assumida foi de constância da fração da poupança  $s$ . Se  $(d + n)$  for estritamente positivo, existe para cada valor de  $s$ , um valor único  $k^*$ , constante no decorrer do tempo, de tal maneira que:

$$s \cdot f(k^*) = (d + n) \cdot k^*$$

Se a economia estiver num nível de capital *per capita* igual a  $k^*$ , o ritmo de crescimento ( de  $K$  e de  $Q$ ) será igual a  $n$ , a taxa de crescimento da população. Portanto, *a economia está sobre uma trajetória de crescimento em equilíbrio de pleno emprego. Quod erat demonstrandum.*

No modelo de Solow, a eficiência do investimento e, por conseguinte, a taxa de crescimento do estoque de capital per capita, diminuem a medida que este estoque se torna mais elevado. O capital tem rendimentos decrescentes, que fixa um limite ao processo de acumulação de capital e, conduz neste processo, à uma anulação espontânea do crescimento. Somente o *progresso*

*técnico* poderia fazer com que a taxa de rendimento do capital, se mantenha num nível tal, contrabalançando a tendência à estagnação. Mas este progresso técnico é exógeno ao modelo, no qual os agentes não têm nenhuma forma de atuação. O equilíbrio é obtido através de um crescimento econômico per capita, igual à taxa de evolução do progresso técnico, portanto, não explicando endogeneamente este crescimento em equilíbrio.

Os modelos de crescimento surgidos posteriormente procuram, basicamente, incrementar as análises apresentadas acima. Dessa forma, no modelo de Solow, no qual a *taxa de poupança* s é exógeno e constante, no *modelo de Ramsay*, por exemplo, depende das preferências das residências, ou, em particular, da impaciência em se postergar ou não, o consumo, ou o *modelo de Kaldor-Verdoorn*<sup>6</sup>, no qual o crescimento da produtividade de capital está diretamente relacionada ao investimento.

### B.3. OS FATORES DO CRESCIMENTO ECONÔMICO DE LONGO PRAZO<sup>7</sup>.

A teoria neo-clássica identifica apenas uma fonte de crescimento econômico: *a acumulação de capital físico*. Os teóricos não ignoram, evidentemente, as outras fontes, mas eles não as integram, explicitamente, nos seus modelos, assumindo que a variável exógena chamada de *progresso técnico*, capte todos os outros efeitos. Contrariamente, os modelos de crescimento endógeno são caracterizados por uma grande diversidade de fatores causadoras do crescimento: investimento em *capital físico*, em *capital público*, em *capital humano*; *aprendizado através da prática (learning by doing)*, distinta das atividades específicas de educação e pesquisa; *divisão do trabalho*; *pesquisa e inovação tecnológica*. Estas causas são conhecidas de longa data, inclusive a maioria citadas por Adam Smith, mas o crescimento endógeno as incorpora formalmente, pela primeira vez, permitindo entender melhor seus efeitos. O investimento em tecnologia tem uma característica, que o diferencia profundamente, do investimento em estoque de capital: ele *não obedece a lei dos rendimentos decrescentes*, caminhando, exatamente no sentido contrário.

---

<sup>6</sup> [BOYER R., PETIT P., (1981)].

<sup>7</sup> Em [GUELLEC D. et al, p.49, (1996)].

### B.3.1. O CAPITAL FÍSICO.

O investimento privado em capital físico é uma fonte comum às teorias antigas e às modernas, mas tratadas de formas diferentes. De fato, para que haja crescimento auto-sustentado, é necessário uma constância do rendimento marginal do capital. O modelo pioneiro do crescimento endógeno [ROMER, (1986)], se baseia nas *externalidades*, existentes entre empresas: o investimento de cada uma delas tem o efeito não apenas de aumentar sua própria produção, mas também de aumentar a produtividade das outras empresas, através das *externalidades tecnológicas*. O investimento é uma fonte de *aprendizado pela prática* e este saber, não pode ser apropriado pela empresa que o produz: ele se difunde, inevitavelmente, às outras firmas. O investimento causa o crescimento, tanto diretamente, quanto através das *externalidades* dos efeitos do progresso técnico. Entre as formas de aprendizado podem ser citados: melhoramentos nos equipamentos instalados, trabalhos de engenharia sobre tecnologias existentes e aumento da competência dos trabalhadores.

### B.3.2. A TECNOLOGIA.

A tecnologia pode ser definida<sup>8</sup> como *um conjunto de conhecimentos relativos a certos tipos de eventos e de atividades associados à produção e à transformação de materiais*. O progresso técnico propicia, portanto, um aumento da capacidade humana de dominar a natureza, sob a forma de uma maior produtividade ou de novos produtos. A tecnologia tem uma característica singular: ela é facilmente disseminável, sendo que, seu custo de reprodução é muito inferior ao seu custo de produção, levando à negação de um princípio econômico inconteste, base da *teoria marginalista*, qual seja, a *lei dos rendimentos decrescentes*. Ela tem a característica de “bem comum”, de maneira que uma mesma tecnologia pode ser utilizada simultaneamente por várias empresas rivais, o que explicaria a capacidade deste fator de engendrar as *externalidades*.

### B.3.3. O CAPITAL HUMANO

---

<sup>8</sup> Segundo [ROSENBERG, (1982)].

O capital humano é definido como sendo o estoque de conhecimentos valorizáveis economicamente, que são incorporados aos indivíduos. Não se trata apenas das qualificações, mas também, sobretudo em países em desenvolvimento, do estado de saúde, de nutrição e de higiene. Este indubitável fator de crescimento foi, há muito, identificado e está, geralmente, incorporado nos modelos anteriores, entretanto, *não de forma explícita*. Assim, no modelo de Solow, o crescimento é proveniente, de um lado, pelo aumento da população ativa - e a quantidade de capital humano está ligado ao número de pessoas ativas - e, de outro, pelo acréscimo da eficácia com que se combinam os processos produtivos, que pode, também, ser interpretado como um aumento da “qualidade” e produtividade do capital humano. Solow estudou, inclusive, nos anos cinquenta e sessenta, como se conectavam o crescimento econômico e a formação do capital humano. Para considerar, explicitamente, este fator de crescimento, as modernas teorias procuram analisar os fundamentos econômicos da formação desta variável, de forma a poder endogeneizá-lo, num modelo. Este fator, diferentemente do *capital tecnológico*, é apropriável, apenas por indivíduo que é o seu portador. Exemplificando, o ciclo de Carnot faz parte do capital tecnológico, de forma que não é preciso redescobri-lo para utilizá-lo; entretanto, o conhecimento ou não deste ciclo é uma característica singular de um determinado indivíduo. Existem, portanto, diferenças fundamentais, entre os mecanismos de *acumulação do capital humano e tecnológico*. O capital humano disponível numa economia está dividido em duas categorias: aquele utilizado na *produção* e aquele que está no sistema de *formação*, constituído, portanto, de estudantes e professores. Estes últimos podem ser considerados como uma espécie de investimento, analogamente ao que ocorre com o *estoque de capital*: da mesma forma que o *investimento* é a parte da *produção não consumida*, para um aumento posterior da *produção*, afim de propiciar um acréscimo no *consumo futuro*; os indivíduos que não estão empregados diretamente no sistema produtivo, representam uma quantidade subtraída de recursos à produção, mas que permitirão um acréscimo futuro nesta produção e no consumo, uma vez que serão mais eficazes, estando adequadamente formados. Similarmente ao que ocorre nos modelos de *capital físico*, o rendimento marginal do *capital humano*, na formação deste capital, deve ser constante, para um crescimento auto-sustentado. Se ele for decrescente, não haverá crescimento no longo prazo e se for crescente, haverá um

crescimento explosivo, não realístico. O modelo representativo desta metodologia é aquele desenvolvido por R. E. Lucas<sup>9</sup>.

#### B.3.4. O CAPITAL PÚBLICO.

O capital público é constituído pelo conjunto das infra-estruturas em mãos das instituições públicas: transportes, telecomunicações, segurança, saúde, educação e outras. É evidente que o crescimento do setor privado necessita e depende também, do crescimento destas infra-estruturas. Além disso, a intervenção pública pode modificar o ambiente institucional no qual se desenvolvem as atividades do setor privado, criando novos mercados ou incentivando determinadas políticas, importantes no desenvolvimento econômico.

#### B.3.5. A DIVISÃO DO TRABALHO E A DEPENDÊNCIA ENTRE FATORES.

A *divisão do trabalho*, como fator de crescimento, pode se realizar de duas formas: *dentro da empresa*, portanto este fator se resume na divisão de tarefas coordenadas hierarquicamente, ou *entre empresas*, através da especialização de atividades coordenadas pelo mercado. As duas formas são levadas em conta nos modelos de crescimento endógeno e, seus efeitos são sentidos tanto do ponto de vista estático, como o ganho de tempo pela desnecessidade de mudança de atividade, quanto do dinâmico, no tocante à *aprendizagem*.

No processo real de crescimento, os distintos fatores agem simultaneamente, interagindo reciprocamente. Assim, na prática, a *divisão* crescente do *trabalho* está constantemente permeada por outros fatores, tais como o *progresso técnico*, que engendra uma diversidade cada vez maior de atividades e do *capital humano*, necessitando, cada vez mais, de uma maior variedade de especialistas. Este crescimento, por sua vez, repousa no *progresso técnico*, que fornece a matéria a ser aprendida e, reciprocamente, são os pesquisadores, portanto *capital humano*, que vão criar *novas tecnologias*. O *progresso técnico* se materializa em novos equipamentos, que representam o *investimento em capital físico*. No modelo neoclássico, a acumulação de *capital físico* cresce também, graças ao *progresso técnico*, mas não considera nenhum tipo de retroalimentação. Um sério limite aos modelos de crescimento é considerar os vários fatores de maneira separada: cada modelo focaliza sobre um ou, talvez dois fatores.

---

<sup>9</sup> [LUCAS R.E., (1988)].

Suas interações não são levadas em conta, o que limita, seriamente, a abrangência dos resultados obtidos. É a famosa *navalha reducionista de Ockham* em funcionamento, novamente. É de fundamental importância saber se os vários fatores são *substituíveis* ou se são *complementares*, por exemplo, na definição de políticas públicas: o investimento em fatores do primeiro tipo irá privilegiar um determinado fator em detrimento de outros, enquanto que no último, existe o acréscimo conjunto dos vários fatores. A consideração simultânea dos vários fatores, num mesmo modelo, requer, por outro lado, uma profunda reflexão, sobre os mecanismos pelos quais eles se articulam, na *função de produção*, enriquecendo certamente os resultados, em relação aos modelos hoje existentes.

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE