

TEXTOS

DO CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PSICOLOGIA

**I – Pitágoras, matemática experimental
e inteligência artificial:
o intercâmbio ordem/caos**

Ued M.M. Maluf

**II – A questão do caos
e o comportamento dos sistemas
autogênicos não-ordinários (Sautog's)**

Ued M.M. Maluf

Angela Maria de Souza Nunes

Jorge da Silva Raymundo

Norma da Luz Ferrarini Zandoná

Rosa Maria Leite Ribeiro Pedro

P/ISOP
CPGP
T
9



9

De 1980 B6/IS/P

I S O P

Instituto Superior de Estudos e Pesquisas
Psicossociais

Centro de Pós-Graduação em Psicologia

I - Pitágoras, matemática experimental e inteligência arti-
ficial: o intercâmbio ordem/caos

Ued M. M. Maluf

II - A questão do caos e o comportamento dos sistemas auto-
gênicos não ordinários (Sautog's)

Ued M. M. Maluf

Angela Maria de Souza Nunes

Jorge da Silva Raymundo

Norma da Luz Ferrarini Zandoná

Rosa Maria Leite Ribeiro Pedro

DUPLICATA

Estagiários

Andréa Milward de Azevedo Ávila Pereira

Carlos Borgarth da Silva

José Sérgio Duarte da Fonseca

Patrícia Regina da Matta Silva

Sérgio da Costa Oliveira



1987

TEXTO DO CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA
Nº 9 - 1987

EXPEDIENTE:

DIRETOR: Franco Lo Presti Seminário

COORDENADOR: Athayde Ribeiro da Silva

Direitos reservados desta edição à Fundação Getúlio Vargas

Praia de Botafogo, 190 CEP 22.253

C.P. 9.052-CEP 20.000

Rio de Janeiro - Brasil

É vedada a reprodução total ou parcial desta obra

Copyright (c) da Fundação Getúlio Vargas

Ficha Catalográfica

Maluf, Ued Martins Manjud

Pitágoras: matemática experimental e inteligência artificial: o intercâmbio ordem/caos; A questão do caos e o comportamento dos sistemas autogênicos não ordinários (Sautog's) / Ued M.M. Maluf; estagiários, Andréa Milward de Azevedo Ávila Pereira.../et al./. - Rio de Janeiro/: Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais, Centro de Pós-Graduação em Psicologia; 1987. 50p. - (Texto do Centro de Pós-Graduação em Psicologia; 9)

2º trabalho com a colaboração de Angela Maria de Souza Nunes e outros autores.

Inclui bibliografia.

1. Epistemologia. 2. Inteligência artificial. 3. Comportamento caótico em sistemas. I. Maluf, Ued Martins Manjud. A questão do caos e o comportamento dos sistemas autogênicos não ordinários (Sautog's). II. Fundação Getúlio Vargas. Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais. Centro de Pós-Graduação em Psicologia. III. Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais. Centro de Pós-Graduação em Psicologia. IV. Título. V. Título: A questão do caos e o comportamento dos sistemas autogênicos não ordinários (Sautog's). VI. Série.

CDD - 121

CDU - 165

S U M Á R I O

pág.

PITÁGORAS, MATEMÁTICA EXPERIMENTAL E
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: O INTERCÂMBIO
ORDEM CAOS

5

A QUESTÃO DO CAOS E O COMPORTAMENTO
DOS SISTEMAS AUTOGÊNICOS NÃO-ORDINÁ-
RIOS (SAUTOG's)

18

BB-00043514-5

BIBLIOTECA
FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS

124/89

16/08/89

AC. 34803

ID 54266

Uma definição corrente da Inteligência Artificial (I.A.) estabelece como objetivo a "construção de máquinas que, em tudo, imitem a inteligência humana" (p.ex., Pitrat, 1985), ou, reeditem funções sensoriais ou motoras comprometidas (McCulloch e Pitts, 1943). Máquinas que substituem a mão-de-obra nas situações de trabalho em geral (a robotização, p.ex.; Maluf, 1987), que apresentam capacidade de entender a linguagem natural, de reconhecer formas, de tornar armas inteligentes, de fornecer diagnósticos - os chamados "sistemas especialistas": cf. *La Recherche*, todo o número de setembro, 1985. Um aspecto fundamental dessas máquinas é o automatismo, em seus graus variados de liberdade (Cf. LATIL, 1973). Nesse sentido, p.ex., se pode fazer remontar a origem da I.A. para muito além do "purposive behavior" de Rosenblueth, Wiener e Bigelow (1943), das tartarugas de G. Walter, das raposas de Ducrocq - ambas espontaneamente procuravam explorar o ambiente circundante. Similarmente, o psiquiatra inglês Ashby construiu seu autômato homeostático. Ou da idéia de uma "criatura inteligente como o homem", de A. Turing (1947). Podemos ultrapassar, mesmo, a data de 1912, quanto Torrès y Quevedo esboçou o autômato que jogava xadrez. O séc. XVIII nos ilustra, nesse sentido, com os autômatos de Vaucansson. Enfim, o aspecto fundamental de "automatismo" nos irá permitir recuar até o séc. IV a.C. Iremos, aí, depararmo-nos com as "bestas automáticas" para disparo de flexas e, principalmente, de um "protocomputador" - um sistema de régua e esquadro - que permitia a extração de raiz cúbica para construção daqueles engenhos "automáticos" (cf. Soedel e Foley, 1979).

Conforme salientado alhures (Maluf, op.cit.), o problema do automatismo de uma máquina vai depender da interação circular de quatro fatores - tipo de material, grau de técnica, nível de tecnologia e estágio científico. Retomando a questão da I.A., podemos, ainda, modificar-lhe o escopo original (cf. Pitrat, op.cit.), para o se

* Trabalho selecionado para apresentação (Temas Livres) no 4º Simposio Brasileiro de Inteligência Artificial, Out., 1987, Uberaba, MG

guinte: máquinas que reproduzam funções do homem e da natureza (cf. Maluf, *ibid.*). Este último comportamento para incluir a síntese: plantas artificiais com função de fotossíntese (cf., p.ex., Honda, 1984). Nesse sentido, impõe-se uma reformulação da própria noção de máquina: um dispositivo de concretização do isomorfismo entre os requisitos de uma função e as exigências técnicas de sua execução ou expressão (cf. Maluf, *ibid.*). Um breve exame dos escopos da I.A., listados, pouco acima, bastará para constatação do alcance da proposta alternativa. Acontece que a máquina pode ser considerada uma mera realização do número, expressa nas razões e relações de suas engrenagens ou componentes (v., p.ex., Thuillier, 1976; Caração, 1963). Mas número e realidade se equivalem na filosofia pitagórica do séc.VI a.C.. E essa equivalência, retratada numa ordenação matemática do Cosmos: "todas as coisas têm um número e nada se pode compreender sem o número". O que explicaria a variedade racional das coisas seria as diferenças de quantidade e de arranjo de formas no número e na harmonia. Era a geometrização da realidade, mais tarde, aprofundada por Euclides (séc.III a.C)). Sob esse aspecto, podemos reunir as máquinas de I.A. - realização numérica - e a concepção pitagórica do mundo - também realizações numéricas: "... as coisas lhes pareciam (aos pitagóricos), na sua inteira natureza, ser formada à semelhança dos números e que os números pareciam ser as realidades primordiais do Universo; consideraram que os princípios dos números eram os elementos de todos os seres e que o Céu inteiro é harmonia e número" (Metafísica, A.5). Foi essa racionalização numérica do Cosmos que impôs a ordem na balbúrdia das escolas filosóficas anteriores (Kirk e Raven, 1968, pp. 323 - 325), culminando numa inusitada afirmação que os séculos posteriores, principalmente em se tratando de medidas (cf. Thorne e Zurek, 1986), haveriam de confirmar "as coisas são números". De uma certa forma, com essa afirmação, confluíram-se aritmética e geometria: "a iteração" de pontos num determinado arranjo geométrico gera triângulos equiláteros; a iteração destes geram outros; e, assim, sucessivamente. Tudo isso descrito por uma lei matemática simples: $1+2=3$; $1+2+3=6$; $1+2+3+4=10$ (o número sagrado). Em geral: $1+2+3+...n=(n+1) \cdot n/2$ são os chamados números triangulares. Coisa semelhante, dar-se-á com a formação de quadrados:

$1+3=4=2^2$; $1+3+5=9=3^2$. Em geral: $1+3+5+\dots+(2n-1)=n^2$ (aí a justificativa do quadrado de um número). A ordem estava estabelecida, a ordem comensurada. Mas um simples teorema sobre o triângulo (a, hipotenusa; b e c, catetos) - $a^2=b^2+c^2$ - abala essa ordem misteriosa do universo. A descoberta da incomensurabilidade (uma ordem irracional), quando os catetos são unitários: $2=1^2+1^2$. O primeiro caso de "patologia" matemática: a ordem gerando desordem, um presságio que os séculos futuros, reiteradamente, verificarão, mais abaixo, explanado. Filosofia e matemática se deram as mãos em Pitágoras. De igual modo, para nós, em particular, como uma antecipação sistemática da I.A., Boole (1854) perfez uma das mais fantásticas uniões. Formalizou a metafísica de Aristóteles - seu "mais certo de todos os princípios", o princípio de não-contradição dos modernos; Ser e não-ser, impossível, através da relação X, ser, (1-X), não-ser e impossível, $0: X(1-X)=0$. Isso como uma forma de mostrar que as leis do pensamento obedecem às leis dos números naturais. A nosso ver, estava gerada a base da linguagem de que se socorreria, depois, a I.A.: a álgebra de Boole. E a Revolução Ciberneticista, com o surgimento do computador, veio ensejar uma réplica da concepção pitagórica: a redução informacional (cf. Maluf, op.cit.). Da mesma forma que se romperia a racionalidade dos tempos pitagóricos, o aparecimento das matemáticas experimentais, mais proximamente com Feigenbaum (cf. May, 1976) ensejou a instalação da cisão da ordem racional da natureza, que até há pouco se conformara com os padrões da geometria euclidiânica (e, a fortiori, pitagórica): a institucionalização de uma geometria fractal do mundo (Mandelbrot, 1978; 1983; Casey, 1987), onde a máquina da I.A. desempenha um papel primordial. Ordem e desordem, racional e irracional se adensam numa mesma estrutura. É uma nova patologia matemática. No séc. XVIII, já se prenunciavam seus antecedentes: Weierstrass com sua função contínua, mas não diferenciável, em nenhum ponto; Cantor estabelece relações entre a teoria dos conjuntos e o cálculo e Peano consegue uma curva que aplica o intervalo fechado, $(0,1)$, sobre o quadrado unitário, $(0,1) \times (0,1)$. O Floco de Neve de Koch, já no séc. XX, apresenta uma característica estranha: por mais que se apliquem amplificações sucessivas, a estrutura permanece a mesma (auto-similaridade). O resultado prático (e teórico) de tudo isso foi o renascimento da teoria da iteração ou

da dinâmica analítica complexa por Fatou e Julia, no início do século (cf. Casey, op.cit. e Mandelbrot, op.cit.). No presente momento, o de que se trata, de forma já não - patológica, é de uma geometria fractal da natureza que a geometria computacional da I.A. permite traçar e fundamentar. Um exemplo expressivo da dinâmica supramencionada é o comportamento caótico de certos sistemas naturais (p. ex., Wolfram, 1984 e Casey, op.cit.). Regulares, inicialmente, tais sistemas, após certo número de iterações, apresentam um comportamento, descritível por uma curva, denominada "atrator estranho" (cf. tb. Ruelle, 1980).

Após os estudos pioneiros de Mandelbrot, um enorme volume de observações aponta para uma visível preferência da natureza pelas formas fractais. São formas, repita-se, que apresentam o mesmo aspecto independentemente da escala de observação. Uma grande variedade de objetos naturais exibem essa propriedade (Sander, 1987): o movimento de bolhas de ar, no óleo; o crescimento de alguns cristais; o comportamento de descargas elétricas simulando relâmpagos. As formas aleatórias das nuvens e litorais são outros exemplos. Métodos computacionais próprios são comuns, hoje, no estudo de modelos, denominados "trajeto aleatório auto-repelente". Funcionam como modelos para processos físicos relativos ao comportamento de certos tipos de polímeros. A diferença entre esse trajeto e o ordinário é que naquele cada passo deve evitar todos os passos anteriores (Wolfram, op.cit., p.192). Recorde-se que a dimensão fractal é uma dimensão não-inteira. Tudo isso se tornou possível, através das matemáticas experimentais: técnicas exploratórias que permitem a aplicação reiterada de regras matemáticas (em geral, através do computador) gerando resultados similares aos métodos experimentais. Assim, pode-se estudar "experimentalmente", p.ex., o comportamento de um autômato celular, simples em sua origem, mas que se complexifica ao ponto de se tornar desordenado (Wolfram, op.cit., p.199). Da ordem nasce a desordem, conforme já afirmado anteriormente. O gerador de tudo isso é a forte interação que se impõe aos elementos iniciais, em qualquer instância. Por isso, hoje, o problema do caos, parece-nos, tornou-se uma questão, solidária do nível de complexificação, resultante de fortes interações. Casos

paradoxais ocorrem: a matéria se torna mais ordenada, à medida que se lhe abaixa a temperatura. Mas, se a temperatura continua a cair, a desordem se instala (cf. Walker e Vause, 1987). Ou, até mesmo, a ordem repetida, várias vezes, sucessivamente, impondo a desordem (Mendes France, 1983). Tudo isso leva, entre outras coisas, à aceitação da quebra da simetria "pitagórica", dominante, até o surgimento das matemáticas experimentais, supramencionadas, e principalmente, o dos fractais (cf. Mandelbrot, 1983). A natureza, como um todo, das nebulosas à célula, parece comportar-se assimetricamente, nas situações de alta complexificação. Aqui os componentes do todo não se podem, meramente, adicionar: o "1+1≠2" de P. Weiss (1968), como é o caso das neurociências e da evolução, em geral. Daí a impossí-

bilidade da eqüipartição do cérebro (p.ex., Sperry, 1977). Daí a inexorabilidade de uma assimetria dinâmica cerebral, quer em termos anatomomorfológicos, funcionais, neurohumorais, quer em termos estéticos e cognitivos (cf. Geshwind e Galaburda, 1984; Walter, 1953).

O objetivo da presente comunicação é apresentar alguns resultados experimentais, em aritmética, de operações (I), oriundos de aplicações (II) e de progressões (III), extremamente simples, mas que se revelaram de alta complexidade (porque iterativas umas; interativas outras). Replicam as primeiras, aspectos típicos dos "sistemas dinâmicos": as segundas, um comportamento, nem linear nem não-linear. Ou ambos; caótico, portanto. A motivação desses experimentos reside na tentativa de elaboração de uma epistemologia não-fiscalista para os sistemas humanos, com base em certas propriedades de tais resultados (cf. Maluf, 1986; 1985). (Equipamento: HP-97 e micro ITAUTEC PC XT).

I - Quadrados perfeitos, X^2 , diferenças de quadrados, m ; diferenças sucessivas, d , diferenças de raízes positivas, k ($= X' - X''$); X tomado nos naturais

I.a - Dado qualquer, m ($m = (X^2)_n - (X^2)_{n-1}$), $k=1$, a raiz menor obtém-se, imediatamente, através da relação:

$$(X)_{n-1} = m/2, \text{ INT.} \quad (1)$$

Ex.: $m = 155$: $(X)_{n-1} = 77$ e, naturalmente $(X)_n = 78$.

De fato: $155/2 = 77,5$, $\text{INT} = 77$. $m = 911$: $(X)_{n-1} = 455$;

$(X)_n = 456$, pois $k = 1$. Como, acima: $911/2 = 455,5$, $\text{INT} = 455$.

I.b - Para $k > 1$, a relação (1), modifica-se:

$$(X)_n = m/2k + k/2 \quad (2)$$

Ex.: $m = 32, k=4$: $(X)_n = 32/2 \times 4 + 4/2 = 4+2=6$; $(X)_{n-1} = 2$

$m = 111, k=3$: $(X)_n = 111/2 \times 3 + 3/2 = 18,5+1,5=20$; $(X)_{n-1} = 17$

Para X em \mathbb{Q} , permanece válida a relação, (1), embora sob uma expressão diversa - a ser, oportunamente, publicada. Conforme aduzido ao início (cf. citação de Pitágoras), qualquer quadrado perfeito é a soma de ímpares anteriores; conseqüentemente, na sucessão de quadrados dessa natureza, alternam-se números de forma $2n$ e $2n+1$, notados, respectivamente, $(X^2_{(0)})$, $(X^2_{(1)})$; assim, em geral: $(X^2_{(0)})_j$, $(X^2_{(1)})_{j+1}$, $X > 1$, $j = 1, 2, \dots (3)$. Por isso, as diferenças sucessivas, d , a partir de um (X^2) fixo, comportam-se similarmente. Em geral:

$$(d_{(1)})_i = (d_{(0)})_{i+1}, \text{ sendo: } (d_{(1)})_i =$$

$$(X^2)_p - (X^2)_q, \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad p=n; \quad q=n-1, n-2, \dots, 1;$$

$n > 2$ (cf. Gardner, 1980, com relação aos primos).

Ex.:

$$10^2 = 100 - 81 = 19; 100 - 64 = 36; 100 - 49 = 51; 100 - 36 = 64; 100 - 25 = 75$$

I.c - As diferenças de primeira ordem $(d_{i+1} - d_i = d')$

são ímpares, assim: $d'_1 > d'_2 > \dots > d'_{n-2}$.

Ex.: de I.b, (4), tem: $36-19=17$; $51-36=15$; $64-51=13$; $75-64=11$.

As de segunda ordem são únicas: $d'' = 2$. Para potências inteiras superiores a 2, haverá sempre um "atrator" similar, correspondente ao produto da potência em questão pelo "atrator" da potência imediatamente inferior. Assim, para a cúbica: $d''' = 3 \times 2 = 6$; para a biquadrática: $d'''' = 4 \times 6 = 24$. A trivialidade dessas relações pode ser, intuitivamente, através de uma simples computação, verificada. Para o quadrado a regra também é válida: $d'' = 2 \times 1$; sendo a unidade a diferença das potências unitárias dos naturais, o "atrator" primário. Em geral, para uma potência, r , inteira, positiva, não-nula, dever-se-á ter: $d^r = r \times d^{r-1}$; $r \geq 2$.

II - Experimentos com a aplicação $f: |X| \rightarrow AX + B$; a iteração de f ($f^0 =$ a identidade; $f^1 = f$; $f^2 = f(f^1)$ e $f^n = f(f^{n-1})$), truncada através da função FRAC, A e B tomados no intervalo e X_0 , nos reais, gera uma multivariabilidade de resultados que "simula" o comportamento de sistemas dinâmicos, com suas janelas críticas, itinerário, pontos fixos, $X_{(=fn)}$, órbitas periódicas, aperiódicas (caos), $O_{f(X)}$. A diferença fundamental é que o comportamento de f depende das janelas críticas ou valores dos parâmetros A, B e independe das condições iniciais, X_0 , típico daqueles sistemas (cf. Ruelle, op. cit.; May, op. cit.). Para qualquer X_0 , o itinerário será "atraído" por um determinado \bar{X} ou uma $O_{f(X)}$, periódica ou aperiódica. O fator determinante são os valores A, B. Assim, quatro situações típicas, com seus resultados gerais, serão formuladas e algumas, ilustradas.

II.a - $0 < A+B < 1, A > B$: i) para $A = 0,5$, $f^n = 2B$.

Ex. $B = 0,48; X_0 = 85.$

Resultados:

0,98, 0,97, 0,965, 0,9625, 0,961250, 0,960625, ...,
0,960001, 0,960001, 0,96. ii) $A \neq 0,50, f^n = 2\bar{X}_j; \bar{X}_j =$
 $F_{A,B_j}; B_j = B/2.$ iii) Algumas janelas críticas: $A = 0,60,$
 $B = 0,30, f^n = 0,75; A = 0,10, B = 0,60, f^n = 0,666667.$

II.b - $0 < A+B=1; A < B,$ existe sempre $0_{f(X)}$ e o período, n' , da órbita é dado por $n' = A \times B \times 100, INT; A > B,$
 $f^n = 1.$

II.c - $A+B > 1; A < B, f^n = 0_{f(X)},$ órbitas periódicas de períodos variados. Se $A, B,$ em $Q,$ as órbitas se tornam aperiódicas (caóticas); tal acontece nas condições, estipuladas em II, para $A > B; A, B > 1.$

II.d - $A = B; 0 < A + B < 1, f^n < 1; A + B > 1, 0_{f(X)}$ de períodos variados. Ex.: $A=B = 0,60; X=89.$ Resultados: 0,00, 0,60, 0,96, 0,176, ..., 0,181471, 0,708883, 0,025330, 0,615198, 0,969119 - órbita periódica de período 6, após um itinerário de $n' = 23,$ compreendendo valores aleatórios. Todos esses resultados mostram como a interação (no caso, iteração) promove a complexificação, em que ordem/desordem se intercambiam. Exemplo mais significativo disso é o que descreveremos na próxima seção.

III - Sistemas autogênicos não-ordinários: basicamente são sistemas aritméticos que evoluem determinística/inde-
terministicamente, ordenada/desordenadamente, num
"espaço" e "tempos" próprios, por nós identificados e investigados, recentemente (cf. Maluf, op.cit. e a "sequência caótica" de Hofstadter, 1980, p.137). É uma progressão cuja razão é aleatória. Lei de forma-

ção é:

$$X_n = X_i + X_j \quad (7); \quad i = n - X_{n-1} \quad (8) \quad \text{e} \quad j = n - X_{n-2} \quad (9), \quad X \in \mathbb{N},$$

$n > 2$, nos naturais. Através dessa lei, conseguimos identificar e provar 24 relações (Relatórios Técnicos). A interpretação de uma dessas relações, particularmente, conspícua, será aqui exposta, por sua relevância para os objetivos da presente comunicação. O sistema se autogera a partir de n valores iniciais, denominados germe. A posição e os valores de X se remetem uns aos outros, gerando uma interação muito forte, com aspectos lineares/não-lineares (São ditos, assim, "não-ordinários"). Ex.: germe (1,2,2)-1,2, 2, 4, 3, 4, 6, 6, 4, 8, 8, 8, 6, 10, 7, 8, 12, 12, 12, 12, 8, 18, 10, 14, 15, 16, 16, 16, 12, 22, 16, 16, 24, 20, 15, 16, ... (Programa gerador em BASIC, de Paulo Roberto Tinoco da Rocha). Os esboços gráficos - à maneira dos grafos de estado - deixam transparecer inusitadas e estranhas formas de evolução (cf. Maluf, op.cit.). Aparentam uma arquitetura geométrica, certamente, não-pitagórica, nem euclidiana, nem não-euclidiana; nem fractal. E, por isso, coerentemente, não-ordinária. É fácil de se ver o alto grau de interação de que são dotados tais sistemas. Interação é essa que instala e permite a evolução da complexidade, fazendo lembrar a noção de "campo" que determina a singularidade dos seres vivos em geral: da célula biológica às nebulosas (Cf. Weiss, op.cit.). Principalmente, porque exemplifica a quebra de simetria, característica de tais sistemas, conforme já antecipado, páginas atrás (cf. Sperry, op.cit.; Geshwind e Galaburda, op.cit.). De modo especial, uma propriedade única de tais sistemas conseguimos, aparentemente, mostrar: a indivisibilidade neles dominante, expressa pela relação " $1/2 = 0$ " (10). Ou seja, o uno fortemente interativo (do qual os sistemas autogênicos não-ordinários são postos como modelo) é indivisível. Ou ainda: " $1=0$ ", ou seja, o uno absoluto, em tais sistemas, torna-se impossível. Por mais que se dividam, é impossível encontrar um elemento unitário de cujo produto seriam resultantes esses sistemas. A

proposição de Weiss (op.cit.), " $1+1 \neq 2$ ", seria uma paráfrase de (10). Bem como tudo quanto se diz, a respeito da coalescência dos componentes dos sistemas vivos ou até, da "estranheza do mundo" de N. Bohr, relativa à não-separabilidade entre propriedades de elementos da matéria e os respectivos métodos de medida (cf. d'Espagnat, 1985). (10) é resultante do desenvolvimento da "soma de dois espaços autogênicos" relações, (8) e (9), para se obter "tempos autogênicos", 2n. Como n pode ser par/ímpar, o caso par fica trivial; já o ímpar leva a (10). A prova de (10) não é rigorosa (sob inspiração de Thom, 1983), mas sugestiva de um caráter heurístico que julgamos mais distintivo de uma epistemologia, específica para os sistemas humanos. O que é compatível com a natureza dos sistemas autogênicos, onde se intermesclam aspectos ordenados e desordenados, talvez refletindo a exigência de uma nova forma de pitagorismo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BOOLE, C. The Laws of thought. Open Court, 1952 (1854).
- CASEY, S.D. Formulating Fractals. Computer Lang., Apr., 28-40, 1987.
- ESPAGNAT, B.d' Niels Bohr et l'étrangeté du monde. La Recherche, Nov., 1402-03, 1985.
- GARDNER, M. Patterns in primes are a clue to the strong law of small number. Sci.Amer., Dec., 16-20, 1980.
- GESCHWIND, N. & GALABURDA, A.M. (Eds.) Cerebral Dominance. Harvard Univ. Press, Ma., 1984.
- CARAÇA, B. Conceitos fundamentais em matemática. Lisboa, Irmaos Bertrand, 1963.
- HOFSTADTER, D.R. Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid. Vintage books, 1980.
- HONDA, K. Artificial Photosynthesis as the Key to Man's Survival. Look Japan, Jun. 10, 1984, p. 18.
- KIRK, G.S. y RAVEN, J.E. Los Filósofos Presocráticos. Editorial Gredos, 1979.
- LATIL, P. O Pensamento Artificial. Rio de Janeiro, IBRASA, 1973
- MCCULLOCH, W.S. and PITTS, W. A logical calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bul.Math.Biophys. 5: 115-133, 1943.
- MANDELBROT, B. Les objects fractals. La Recherche, 9 (85): 5-13, Janv. 1978.
- _____. The Fractal Geometry of Nature. New York, Freeman & Co., 1983.

- MALUF, U.M.M. Geometrização do raciocínio em Aristóteles e Boole, linearidade e epistemologia. Arq.Bras. de Psicologia, 37 (4), Out./Dez., 1985.
- _____. Sistemas autogênicos não-ordinários e sua possível implicação epistemológica para a interação nos sistemas humanos. Arq.Bras. de Psicologia, 38 (1), Jan./Mar., 1986.
- _____. Epistemologia Artificial, Informatização da Sociedade e seu Impacto sobre o Humano. XX CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA; SUCEU, São Paulo, Maio 1987, 20pp.
- MENDÈS FRANCE, M. Les Courbes Chaotiques. Le Courier du CNRS, 5-9, 1983.
- MAY, R. Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, 261: 459-467, 1976.
- PITRAT, J. La naissance de l'intelligence artificielle. La Recherche, Oct., 1130-1141, 1985.
- RUELLE, D. Les attacteurs étranges. La Recherche, 11 (108): 132-144, Fév., 1980.
- SANDER, L. Fractal Growth. Sci.Amer., Jan. 82-83, 1987.
- SPERRY, R.W. A Unifying View of Mind and Brain. Amer. Psychol., Apr., 237-245, 1977.
- SOEDEL, W. & FOLEY, V. Ancient Catapults. Scientific American, Mar., 120-128, 1979.
- THOM, R. Paraboles et catastrophes: entretiens sur les mathématiques, la science et la philosophie. Paris, Flammarion, 1983.
- THORNE, K.S. and ZUREK, W.H. J.A. Wheeler: a few highlights of his contributions to Physics. Foundations of Physics, 16 (2): 79-89, 1986.

THUILLIER, P. Au Commencement était la Machine. La Recherche, 7(63): 47-57, Jan. 1976.

TURING, A.M. Intelligent machinery. Artigo de 1947, re produzido em Meltzer, S. & Michie, D. (Eds.). Machine Intelligence, 5. Edinburgh Unive. Press, 1969

WALKER, J.S. & VAUSE, C.A. Reappearing phases. Sci. Amer., May, 90-97, 1987.

WALTER, G. The Living Brain. Duckworth, 1953.

WEISS, P. $1+1 \neq 2$ (When One plus One does not equal two). In Quarton, G.C., Mehaechuck, T. & Schmidt, F.O. (Eds.) The Neurosciences. N.Y.: The Rockefeller, U.P., 1968.

WOLFRAM, S. Computer software in Science and Mathematics, Sci. Amer., Sept., 188-203, 1984.

bb/.

A QUESTÃO DO CAOS E O COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS AUTOGÊNICOS NÃO-ORDINÁRIOS (SAUTOG's)

U.M.M. Maluf

Angela Maria de Souza Nunes

Jorge da Silva Raimundo

Norma da Luz Ferrarini Zandoná

Rosa Maria Leite Ribeiro Pedro

0. Preâmbulo

0.1 Breve Histórico

Do ponto de vista da história das ciências que tratam dos sistemas humanos, em geral, a hegemonia epistemológica nestes vigentes, na década dos 50, pós- segunda guerra mundial, poderia ser resumida na vigência exclusiva do paradigma do controle. A explosão dos estudos experimentais de aprendizagem e da personalidade, segundo modelos científicos (estritos em aprendizagem, Hull; menos estritos, Skinner; em personalidade, estritamente científicos, os programas de Eysenck (na Inglaterra), Cattell e Guilford - este, mais na área cognitiva, principalmente, por seus estudos sobre criatividade - nos Estados Unidos) o demonstrou à saciedade. De modo geral, todas as áreas da psicologia expandiram-se, resultando nos campos de especialização contemporâneos (clínica, industrial, organizacional, predominantemente), sob essa influência. E para essa determinação, a nosso ver, a contribuição do esforço de guerra coletivo e o fantasma do comunismo (macartismo) foram decisivos na criação de um contexto permissivo. Mas a questão do controle, epistemicamente falando, radicava-se no sucesso teórico e tecnológico da cibernética que se intitulava, nada mais nada menos, como a "ciência da comunicação e do controle em animais e máquinas". Prenunciavam-se as "sínteses inteligentes": o computador (o ENIAC I, recém-construído), o autômato homeostático do psiquiatra inglês, Ashby; as tartarugas eletrônicas de G. Walter; a "maquinária inteligente" do inglês Turing; os incontáveis simpósios e congressos sobre cibernética e "mecanização do

pensamento" - uma neo-Revolução Industrial. Tudo isso, de forma direcionada, plasmou o Zeitgeist dessa década (*).

A década dos 60 é cenário para o surgimento de paradigmas, completamente diversos, de ciência. Pelo menos, de uma perspectiva, ainda, incipiente, que se iria prolongar pela década dos 70. Esse período se nos afigura como distinguido pela marca da interação. E, de certa maneira, por isso mesmo, por uma transformação radical nas bases dos pressupostos epistemológicos: de um regime de controle, estritamente linear, para um não-linear, imune ao controle. Talvez esse início se possa localizar no aparecimento das matemáticas experimentais com Feigenbaum e a descoberta por Lorenz, do Massachusetts Institute of Technology, de que sistemas muito simples poderiam exibir um comportamento muito complexo. A necessidade de achar uma explicação para a imprevisibilidade do tempo levou-o a modificar certas equações do movimento, aplicáveis aos fenômenos atmosféricos. Com isso obteve um sistema de, somente, três graus de liberdade. Seu comportametro, porém, revelou-se completamente aleatório. Nenhum dos três atratores, até essa época definidos, poderia caracterizá-lo de um modo satisfatório - v. Proposição IV, mais à frente, para a idéia de atrator.

(*) De certa forma, isso constitui uma trivialidade histórica. Um de nós (Maluf) discorreu exaustivamente sobre isso: Maluf, 1974, 1983. Mais recentemente, em particular, no âmbito das teorias organizacionais e administrativas, discutiu essa hegemonia epistemológica -cf. Maluf, 1982. A influência ciberneticista nas organizações, no Brasil, se refletiu duas décadas depois, no modelo apresentado pela tese brasileira ao IV Congresso Latino-Americano de Automatización Bancária, em Caracas, merecendo, inclusive, um Prêmio Hors Concours "...por la originalidad del trabajo en el cual se da um modelo de informática con visión de futuro".

- Maluf, U.M.M. El problema de la adaptación humana en la empresa automatizada. Caracas, IV Congreso Latino-Americano de Automatización Bancária, Asociación Bancária de Venezuela, nov. 1972. pp.36.

Surgiu, então, o primeiro exemplo de atrator estranho ou caótico, que se passou a denominar "atrator de Lorenz".

À mesma época, no campo da cinética química, apareciam os trabalhos de Prigogine e sua equipe de Bruxelas apontando para o surgimento da ordem a partir de flutuações, em sistemas de energia, longe do ponto de equilíbrio. Eram os sistemas dissipativos não-lineares e a modificação do conceito de uma entropia "linear" para a idéia de uma entropia não-linear, uma entropia generalizada. Ao mesmo tempo surgia a idéia de que a natureza não podia obedecer às regularidades de uma geometria euclidiana: Mandelbrot, um pesquisador da IBM, cria o termo "fractal" - já antecipado, entre outros, por Peano, no séc. XIX - que se refere a entes de dimensão não-inteira (p.ex., entes de uma dimensão entre a reta (de dimensão 1) e o plano (de dimensão 2) - (**)) - o movimento browniano é um dos exemplos - v. nota (4) para definição deste). Enfim, todo esse clima de oposição contra o regular, o linear, o racional em ciência - uma verdadeira instauração de que "... o caos de mostra que um sistema pode exibir um comportamento complicado, em consequência de interações não-lineares simples de apenas uns poucos elementos" (v. nota (2), mais à frente) - respaldou as preocupações epistemológicas de um de nós (Maluf), no sentido de investigar uma lógica, uma linguagem e uma epistemologia irracionais para a psicologia (***) . Dificuldades operacionais não contornadas, surgidas

(**) Para isso consultar Maluf, 1983; Prigogine, 1972; Mandelbrot, 1978.

(***) Comunicação dos resultados incipientes a esse respeito foi aceita pelo XXII International Congress of Scientific Psychology, Leipzig, GDR 1980: "Incommensurability of human behavior and irrational logic".

ao longo do desenvolvimento desse projeto, levaram a leituras, onde a questão caos/ordem podia ser divisada de forma diferente (****). Esse desvio metodológico levou à descobertas de sistemas numéricos, extremamente simples, mas que apresentavam não somente um comportamento caótico, mas, também, simultaneamente, um comportamento ordenado; aspectos lineares e não-lineares, ou, reversivamente, nem lineares, nem não-lineares. E o faziam autonomamente. Por esse caráter anômalo foram denominados "sistemas autogênicos não-ordinários" - SAUTOG's - como aparece no título da presente comunicação. Dadas as propriedades peculiares de que são dotados, passamos, então, a explorar a possibilidade de aplicá-las na feitura do que denominamos "epistemologia não-ordinária", especialmente endereçada para a psicologia e a área dos sistemas humanos. Na presente comunicação pretendemos mostrar alguns pontos de "convergência"/"divergência" com os estudos do caos que instigam, igualmente, para o surgimento de uma nova epistemologia científica. Os resultados até agora obtidos com os SAUTOG's já foram extensamente divulgados (*****), mas para facilitar a presente discussão, fazêmo-la anteceder do Preâmbulo em curso, onde se expõem os elementos da respectiva estrutura.

(****) Especificamente: Hofstadter, 1980. Ressalte-se que o tratamento algébrico dessa "lógica irracional" nenhuma relação guarda com a álgebra dos sistemas paraconsistentes conhecidos - cf. Maluf, 1983.

(*****). Por exemplo: Maluf, U.M.M. Aplicação do algoritmo da redundância estrutural na análise de textos naturais e seu uso potencial em semiótica. 1º COLÓQUIO LUSO-BRASILEIRO DE SEMIÓTICA. Niterói, U.F.F., set., 1984. pp. 31; Maluf, 1986.

0.2 Definições

Denominamos a uma sucessão, S , que obedece à seguinte lei de formação

$$X_n = X_{n-1} + X_j$$

com argumento e índices inferiores a serem, mais abaixo, especificados, um "Sistema Autogênico não-ordinário", abreviado "SAUTOG" e notado, S_g , se as seguintes condições forem satisfeitas:

0.2.1 n, X em N^* ;

0.2.2 S em N^* , por 1.1

0.2.3 Os elementos iniciais de S , $(X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$ notados " g ", são ditos "germes de S "; para especificar que um S particular foi gerado, a partir de determinado g , adota-se a seguinte notação: ;

$$\underline{S}_g. E: g (X_1, X_2, \dots, X_{n-1}); |X| \leq n-1$$

0.2.3.1 $2 \leq n-1$

0.2.3.2 Não-comutatividade de g :

$$g = (X_1, X_2, \dots, X_{n-2}, X_{n-1});$$

$$g^- = (X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_{n-2})$$

$$g \neq g^-$$

0.2.4. $S_g = (X, X, \dots, X_{n-1}), X_n, \dots; n > 2$

0.2.4.1 $|X| \leq n$

0.2.4.2. Por 1.3.2 é trivial que $S_g \neq S_{g^-}$

Repetindo-se a lei da formação de S_g :

$$0.3 \quad X_n = X_i + X_j$$

$$0.3.1 \quad i = n - X_{n-1}$$

$$0.3.2 \quad j = n - X_{n-2}$$

Substituindo-se em 0.3:

$$0.4 \quad X_n = X_{n-X_{n-1}} + X_{n-X_{n-2}}$$

Aplicando-se (2.1), sucessivamente, obter-se-á:

$$0.5 \quad X_{n-1} = X_{(n-1)-X_{n-2}} + X_{(n-1)-X_{n-3}}$$

$$0.6 \quad X_{n-2} = X_{(n-2)-X_{n-3}} + X_{(n-2)-X_{n-4}}$$

$$0.7 \quad X_{n-k} = X_{(n-k)-X_{(n-k)-1}}$$

$$+ X_{(n-k)-X_{(n-k)-2}}; n > k; k=0,1,2,\dots,n-2$$

Para $k=0$, Recai-se em (0.4)

Para $k=1,2$, recai-se em (0.5) e (0.6), respectivamente. Na prática, pois, a lei de formação é válida para $k+1$, e, portanto, o é, em geral.

0.8 Exemplificação

Uma sucessão tal como: 0, 1, 2, 3, 4, ... representa o conjunto dos números naturais. Uma maneira trivial de interpretar seu crescimento é, por exemplo, admiti-la como resultado de uma função "sucessor": - cada elemento, fora o germe, é o anterior mais 1. Esse tipo de sucessão pode ser denominada heterogênica porque ela cresce, a partir de "fora", exogenamente: uma "regra" aplicada a elementos originais, denominados germe, no caso "0", com argumentos externos a esse germe (no caso "1"). Outra sucessão muito conhecida na literatura - é a "Sucessão de Fibonacci": 1, 1,

2, 3, 5, 8, ... Nela se identificam um germe (os dois primeiros elementos: 1, 1) e uma regra: cada elemento, após o germe, é a soma dos dois imediatamente anteriores.

Uma sucessão tal como: (1, 3, 2, 5, 4, 6), 3, 7, 9, 3, 10, 12, 3 ... já é mais complicada, entre outras coisas, pelo fato de ela "autogerar-se". Nela se identificam um germe - os seis primeiros elementos - e uma "regra" (0.3): o valor de cada elemento, fora o germe, é dado pela soma dos valores dos elementos que ocupam as posições, indicadas pelos valores dos dois últimos elementos anteriores. Essa sucessão é dita autogênica porque ela cresce a partir de "dentro", através dessa "referenciação recíproca" entre "valores", X, e "posição", n. Nisso reside a dinâmica autôgena do sistema.

Enquanto nas sucessões heterogênicas o crescimento prossegue indefinidamente, nas autogênicas isso pode não acontecer. Por exemplo, o germe 1 2 4 3 6 5 somente permite a seguinte sucessão: 1 2 4 3 6 5 3 10.- cf., mais à frente, Proposição IV.

1. Introdução

Nosso objetivo ao investigar certas propriedades que divisamos subjacentes à dinâmica dos SAUTOG^{nt}s foi procurar através dessas propriedades, formular uma epistemologia alternativa para os sistemas humanos, que se manifestasse - conforme reiteradas vezes lembrado - desvinculada de um fisicalismo, a nós visível nas epistemologias prevalentes em tais campos. Esse objetivo implicava numa modificação radical da visão científica. Principalmente, numa profunda subversão da noção de ordem como distintivo único do conhecimento científico (ressalte-se que a acepção de ordem implica racionalidade). Implicitamente, dentro dessa perspectiva, ficava abalada a questão da previsibilidade que a epistemologia da física newtoniana instaurada havia como solidária da conotação de ciência, em geral. E que Laplace (séc. XVIII) consagrara em seu famoso texto so-

bre o determinismo Essai philosophique sur les probabilités (1). Essa perspectiva epistemológica viria modificar-se, dois séculos mais tarde, em inícios do séc. XX, com a visão radicalmente oposta de Poincaré. Em vez da previsibilidade laplaciana, a indeterminação dos sistemas, resultante - nisso residiria, possivelmente, o fundamento dessa imprevisibilidade - de variações mínimas ou "incertezas arbitrariamente tão pequenas quanto se queiram no estado de um sistema que podem tornar-se amplificadas, ao longo do tempo, de modo a impossibilitar previsões a respeito de eventos em futuro distante". Dessa maneira, a proposta de Laplace de que as leis da natureza refletem "um determinismo estrito e uma completa previsibilidade" se vê postergada. Assoma uma legalidade alternativa, num primeiro momento, inclusive, nitidamente, paradoxal. A concepção de ciência passa a implicar o aspecto do imponderável, do imprevisível. É a antecipação das modernas concepções de sistemas dinâmicos (2).

(1) "O estado presente do universo é efeito de seu estado anterior e causa do que lhe vai suceder. Uma inteligência que, num dado instante, tivesse à sua disposição o conhecimento relativo tanto às forças atuantes sobre a natureza quanto à situação particular dos seres que a compõem, e, além disso, fosse capaz de submeter esses dados à análise, conseguiria abarcar, numa única fórmula, tanto o movimento dos maiores corpos do universo, quanto aqueles dos menores átomos. Não haveria incerteza para ela mais: o futuro e o passado estariam sempre presentes a seus olhos" - ed. Gauthier Villars, 1921, p. 3. Essa a proposição essencial do determinismo.

(2) Cf. Crutchfield, J.P. et al., 1986, p. 40.

2. Sistemas Caóticos

Basicamente, um sistema dinâmico apresenta dois aspectos fundamentais: um compreende as informações essenciais com respeito ao sistema (a noção de estado); outro, sua dinâmica (em geral, uma regra que diz como esse estado evolui ao longo do tempo). Essa evolução pode ser representada, visualmente, através do que se chama espaço de estado cujas coordenadas nada mais são que os próprios componentes. Essas coordenadas variam, de acordo com o contexto. Assim v. referência (2) — num sistema mecânico, podem ser a posição e a velocidade; num sistema ecológico, as populações das diferentes espécies. E é precisamente a teoria dos sistemas dinâmicos que fornecerá o referencial teórico do caos. O que passaremos a expor, na presente comunicação, funda-se, integralmente, na referência da nota (2). Diz respeito à teoria de caos. É uma exposição das mais lúcidas com que tivemos oportunidade de nos deparar até essa data, em termos de vulgarização para cientistas não familiares com a física e a matemática. Sem entrar em pormenores técnicos, permite ao leitor uma perfeita compreensão dessa nova forma de ordem: a desordem. E por isso é que nela nos baseamos para discutir os aspectos caóticos que também supomos exibirem os SAUTOG's, conforme o título da presente comunicação o propõe. Nessa referência encontra-se em oposição ao texto de Laplace, o de Poincaré (sécs. XIX-XX) merecedor, igualmente, de registro:

"Pode acontecer que nos passe despercebida a atuação de uma causa muito pequena, mas que, no entanto, acarreta um efeito de grandeza considerável impossível de não ser observado. Mas quando isso acontece, sempre dizemos que esse efeito é resultante de obra do acaso. Se tivéssemos um conhecimento exato das leis da natureza e da situação do universo, no momento inicial, ser-nos-ia possível prever, com exatidão, a situação daquele mesmo universo, num momento ulterior. Mas, mesmo que assim o fosse, isto é, que as leis da natureza não mais de nós escondesse nenhum segredo, somente poderíamos conhecer a situação inicial, de modo aproximado. Se tal fato ensejasse a previsão da situação seguinte, com a mesma aproximação (seria tudo que desejávamos), permitir-nos-ia dizer que o fenôme-

no houvera sido previsto, ou seja, determinado por leis. Mas nem sempre é isso que ocorre. Pode acontecer que diminutas diferenças nas condições iniciais gerem enormes diferenças no fenômeno final. A previsão torna-se, desse modo, impossível e com isso tem-se o fenômeno que costumamos denominar de fortuito" - grifos no original.

Achamos de particular significação a referência a Laplace e a Poincaré. Enseja-nos presenciar, na história das ciências, de um lado, o ocaso de uma epistemologia determinística (Laplace) e, de outro, o nascer de uma forma alternativa, indeterminística (Poincaré), de concepção científica: reflete a possibilidade de se instaurar um tipo de ordem, anômalo, incomum, marcado pela imprevisibilidade, como distintivo mesmo de uma "ciência em metamorfose" (para se tomar emprestado o termo de Prigogine e Stengers⁽³⁾). Para facilitar a compreensão das idéias essenciais a respeito, procuraremos sintetizá-las, sob a forma de Proposições, como segue.

2.1 Algumas idéias básicas sobre o Caos

Primeiro, alguns exemplos: instabilidade do tempo; curso d'água irregular, serra abaixo; o trajeto de um bloco de pedra rolando por um terreno acidentado; a passagem do escoamento laminar de um fluido para um escoamento turbilhonar (4), o esboço indefinível das nuvens. São ditos fenômenos comportando "elementos aleatórios". Até recentemente, cria-se que a previsibilidade em tais situações poderia, em princípio, ser, ainda, obtida.

(3) Prigogine, I. e Stengers, I. (1979). Nessa obra tem-se oportunidade de se avaliar o choque evidenciado por dois tipos opostos de cultura científica; a linear, com indistigível toque laplaciano, e a não-linear, a "das flutuações gerando ordem" que se pode fazer remontar a noção de "fortuito" de Poincaré.

(4) Existe uma medida desse comportamento turbilhonar: o chamado número de Reynolds, adimensional, R , que expressa a razão entre velocidade média de um fluido, v ; densidade, ρ ; raio do tubo de escoamento, r e sua viscosidade.

Proposição I- Sistemas simples com "dinâmica complicada"(5)

Mas "constatações surpreendentes" afastaram, de vez, essa possibilidade. "... É que sistemas determinísti - cos (grifo nosso) simples, compostos, somente, de alguns poucos elementos podem manifestar comportamentos aleatóri - os". E tal fato não implica que, se maiores informações fos sem obtidas, a aleatoriedade ficaria eliminada. O problema comporta um aspecto fundamental que se inscreve no inte rior da própria dinâmica do sistema.

e: $R=v.p.r/e$. É aplicado desde a física até a fisiolo - gia. Nesta última, a ocorrência de sopros cardíacos, em situações de esforço muito forte, por exemplo, quando ul trapassada a constante crítica de turbulência do sangue, expressa por esse número. Quanto maior, maior a turbu - lência do fluido; quanto maior a turbulência, mais pró - ximo o caos... Um exemplo mais pragmático: quando viaja mos de avião, um voo tranquilo (laminar), subitamente, pode ser interrompido por solavancos violentos os chama dos "vácuos"; isso ilustra a instalação da turbulência.

É bom não esquecer o caso clássico de comportamento caó ticos: o movimento browniano - um cisco em suspensão num a gota d'água, observado através do microscópio, descre ve movimentos erráticos completamente imprevisíveis. A explicação disso é a seguinte: "...as partículas de poei ra, bombardeadas, de todos os lados, pelas moléculas, são em grande número e invisíveis; a previsão detalhada do movimento nessas partículas se revela, completamen - te, inviável" - v. referência nota (2).

- (5) Esse título o encontramos no excelente trabalho de revi são de May (1976), a respeito da história, surgimento e desenvolvimento das matemáticas experimentais, com par ticular ênfase nos sistemas dinâmicos e caóticos.

Proposição II - Paradoxo do caos determinístico

O caos é gerado por regras fixas que não comportam, em si, nenhum "elemento randômico" ou, para usar a expressão de Poincaré, "fortuito". De certa maneira, o futuro está, completamente, determinado pelo passado. Podem ocorrer, no entanto, "pequenas incertezas" que, em algum tempo, no futuro venham a sofrer ampliações. Quando isso acontece, a curto prazo, o comportamento do sistema continua previsível; a longo prazo, não.

Proposição III - Caos Ordenado

Existe ordem no caos: "... subjacentes ao comportamento caótico ocorrem elegantes formas geométricas que são geradas randomicamente, da mesma forma que um jogador embaralha as cartas ou que um padeiro mistura a sua massa de bolo" (2). Isso permite que fenômenos, anteriormente, considerados aleatórios, passem a vir a ser previstos, diferentemente do que até o presente se imaginara. E esses fenômenos pertenciam a um domínio de escala microscópica (o movimento browniano supra-referido). Agora, sabe-se que mesmo em escala macroscópica observam-se fenômenos desse tipo. As bolas de encher das festinhas de aniversário: quando se lhes deixa escapar o ar pelo bico, o comportamento que descrevem fica, totalmente, imprevisível. Outro exemplo: a questão do tempo. Ambos obedecem à mesma lei da mecânica newtoniana, $F = ma$, como o sistema planetário. Por que, então, os dois primeiros exemplos se apresentam imprevisíveis? A resposta talvez repouse na contingência de que nova forma de ordem deva ser buscada. De certa maneira, o caos fica sendo indicativo de que algum tipo de ordem esteja vigorando em tais casos. Ou similares (6).

- (6) O cotidiano parece muito mais impregnado de caoticidade do que se imagina: por ex., uma torneira pingando, em geral, reflete um comportamento regular (o intervalo entre os pingos é constante). Esse intervalo, contudo, pode vir a obedecer a um regime em que "... as go-

Em outras palavras, necessário se faz perquirir fontes alternativas geradoras do caos nos macrossistemas. Uma teoria clássica, a do físico soviético Landau, atribui o movimento turbilhonar dos fluidos à composição de diferentes e independentes oscilações. Ou seja, o sistema entra em turbulência e em regime caótico, a partir do momento em que se instala essa combinação. A constatação, porém, de que mesmo sistemas muito simples poderiam exibir uma "dinâmica muito complicada" - cf. Prop. I - redundou na invali-

tas jamais caem segundo um padrão repetitivo..." - v. referência da nota (2), p. 47. Isso para não falarmos na trivialidade do caos nas paixões, nos sentimentos, no pensamento criativo, nas artes e nas ciências da história humana. Ou, nas perturbações e expressões plásticas do esquizofrênico que o Museu de Imagens do Inconsciente (Hospital Pedro II, Rio de Janeiro) acolhe. Profusão de cores, de formas matizadas, de espaços gerados por geometrias incomuns, jamais, antes, imaginadas que existir pudessem na mente dos chamados "afetivamente embotados". Tudo resumido na frase de Antonin Artaud, conforme transcrita por Silveira (1987, pp. 5-6): "O ser tem estados inumeráveis e cada vez mais perigosos". E a autora continua: "... certos acontecimentos podem ocorrer nas profundezas da psique, avassalando o ser inteiro" (relembre-se ao que Poincaré se referia como "incertezas diminutas" que se amplificam, no futuro, e subjugam o sistema com um regime de imprevisibilidade). Descarrilhamentos da direção lógica do pensar ... estreitamentos angustiantes ou ampliações espantosas do espaço ; caos; vazio ... Através das imagens espontâneas que possam emergir na pintura de pessoas que vivem estados perigosos do ser, o trabalho do Museu de Imagens do Inconsciente consiste, principalmente, em penetrar, ainda que por frestas estreitas, nas regiões misteriosas que ficam do outro lado do mundo real" (grifo nosso) - Silveira, N. da, in Os Inumeráveis Estados do Ser. Rio de Janeiro, Hospital Pedro II, Museu de Imagens do Inconsciente, maio, 1987, pp.60. Nesse trecho se nos afigura, claramente, valer as Proposições sobre o caos: caos ordenado, caos determinístico, epistemologia do caos etc. E, de igual maneira, fá-lo-ão, poder-se-á, constatar, certas propriedades dos SAUTOG's.

lidação dessa teoria. Basicamente, seria correto afirmar que, do ponto de vista epistemológico, a perspectiva contemporaneamente vigente, a esse respeito, se pode remontar à concepção de Poincaré (cf. nota (2)). Essencialmente: diminutas oscilações ou variação ou erros chegam, ao longo do tempo, a ficar amplificadas, de modo tal a impedir qualquer previsão, a longo prazo, para o sistema. Nesse sentido, experiências nossas com sistemas aritméticos muito simples - uma aplicação do tipo $f: X \rightarrow AX + B$, A e B tomados em Q e submetida a um processo iterativo(*); de igual maneira, raízes quadradas irracionais, arredondadas iterativamente por um determinado fator, confirmam esse prognóstico de Poincaré: através de alterações muito pequenas, quer nos Parâmetros, quer no fator de correção, os respectivos sistemas evoluem no tempo, de forma completamente imprevisível (7).

Os SAUTOG's, conforme já tivemos oportunidade de mostrar, também exibem um caráter de imprevisibilidade, de caoticidade. A diferença, no entanto, com respeito aos demais sistemas de comportamento similar, é que apresentam, simultaneamente com o caráter de desordem, o caráter de ordem. Mas, uma ordem visível e não, simplesmente, subjacen-

-
- (7) Cf. Maluf, 1987; 1986: as experiências com a reta revelam um padrão de comportamento tipicamente aleatório, nas condições estipuladas e, em outras situações, um comportamento "periódico" de períodos variados, muito semelhante ao que ocorre com os chamados "sistemas dinâmicos"; já a iteração de raízes quadradas irracionais mostra como o número de iterações para se conseguir uma "raiz exata arredondada", segundo um determinado parâmetro de correção, varia de forma inteiramente aleatória. O interessante dessas experiências é que se consegue o "fortuito", através de "oscilações mínimas", no caso, nos parâmetros A e B; que se amplificam no tempo, de modo autônomo, segundo a expressão de Poincaré - cf. nota (2) - em sistemas extremamente simples.

(*) $0 > A, B < 1; A + B > 1$

te à caoticidade conforme o expresse a Proposição III. Por esse motivo, denominamo-lo - de "não-ordinários". Não deixam, porém, de se inserirem dentro do espírito da presente proposição, de vez que os respectivos esboços gráficos exibem uma variedade incomum de formas que somente a vigência de um tipo especial de "geometria" seria capaz de gerar. Uma espécie de geometria anômala, "desprovida de uma métrica, de uma distância", mas, à igual maneira do caos aqui exposto segundo a referência (2), reveste-se de configurações de fina e sutil elegância - cf. esboços gráficos Quadro I. Indício de uma dinâmica, perpassando o sistema que se institui, assim, como um regime fortemente interativo. Aí aspectos de não-linearidade e linearidade se intermesclam de modo inextrincável, fazendo emergir a característica singular de tal sistema: sua não-ordinariedade(8).

Proposição IV - Atratores caóticos

Os sistemas dinâmicos (v. definição in initio) apresentam comportamentos os mais variados e inesperados. Um conhecido artigo de revisão do assunto por May (9) ilustra, de forma prática, o alcance "epistêmico" que se pode vislumbrar em tais sistemas. Dois aspectos essenciais os definem: um primeiro concerne à autonomia que se instala e dirige a evolução de seus estados (cf. definição). Isso, no sentido em que nada "fora" do sistema conta: é a própria dinâmica interior que induz essa evolução. A respectiva Lei de Formação estipula as condições dessa autonomia. Um outro aspecto - essa uma avaliação de não-especialistas mas, por isso mesmo, menos plausível - concerne ao fato de essa lei especificar um processo interativo. Essa circu-

-
- (8) Nunca é demais repetir: a nosso ver, isso ocorre por força do que denominamos "Referenciação recíproca", conforme indicada por sua lei de formação. Os valores dos X 's dependem da posição do X 's anteriores que, por seu turno, dependem dos valores dos X 's anteriores. E assim, recursivamente - cf. Maluf. 1986.

laridade "Lei de Formação (geradora da estrutura particular do sistema)/ iteração (geradora de uma forte interação interna)" é que responderia pela caracterização desses sistemas especiais, denominados "sistemas dinâmicos", pelo menos se nos basearmos nos exemplos aduzidos por May (9).

A idéia de atrator é central nos sistemas dinâmicos. Basicamente: são formas geométricas que lhes caracterizam o comportamento, a longo prazo. É aquilo para o qual o sistema se vê atraído. Alguns exemplos: as oscilações estáveis tais como o movimento de um pêndulo (v. ilustração, fig. 1, (*)) ou os batimentos cardíacos são descritos por um ciclo limite (v. fig. 2). Para outras formas de atratores, v. fig. 3. O atrator mais simples é constituído por um ponto, denominado ponto fixo. No caso do pêndulo pela resistência do ar, as oscilações se vão amortecendo até chegar a um ponto de repouso (v., de novo, fig. 1). Pode ocorrer que o sistema seja atraído por mais de um ponto fixo: nesse caso, diz-se que o sistema cai numa órbita de período correspondente ao número de pontos (órbita periódica de período (2, 3, ..., n)).

Do ponto de vista comportamental, nos casos de aplicação da teoria da catástrofe (10, o comportamento de ataque ou fuga de um cão ilustra o ponto fixo atrator (Fog. 4). Não seria exagero referir-se às psicoses maniaco-de-

(9) Pelo títulos de artigo se pode avaliar sua relevância; "Sistemas muito simples dotados de uma dinâmica muito complicada", - cf. nota (15). O aspecto interativo se faz da seguinte maneira: tem-se uma aplicação, f ; ou melhor, f^0 ; f^1 será igual a ff^0 , $f^2 = ff^1$; e, assim por diante, $f^n = ff^{n-1}$ (iteração).

(*) Todas as figuras do texto relativas a atratores são da referência da nota (2).

(10) Güttinger, W., 1973. Exemplifica a aplicação da teoria da catástrofe em física e biologia, sendo a catástrofe definida como "uma mudança súbita e qualitativa de comportamento".

pressivas como exemplificação de um sistema atraído por uma órbita periódica de período 2 (II).

Existem outros tipos de atratores mais complicados, de modo que se torna imprevisível o comportamento dos respectivos sistemas: são os atratores caóticos e exibem estruturas geométricas de extrema complexidade (Fig. 5). Uma característica essencial os define: dependendo da escala de observação, os detalhes da estrutura se vão explicitando, cada vez mais, "em beleza de arquitetura geométrica" (2, p. 45). É uma espécie de "abre e fecha" quando se "abre", os erros se amplificam "flutuações microscópicas adquirem expressão macroscópicas" (2, *ibid.*). Quando se "fecha", as órbitas que se distinguiam como separadas, se fundem, "... de modo que as informações em grande escala são apagadas" (2, *ibid.*). Exatamente por isso o sistema se vê dotado de uma autonomia de gerar o caos "... por si próprio, sem necessidade de nenhuma entrada caótica de fora" (2, *ibid.*) - v. figs. 6a, b, c; relembrem-se também, os exemplos, aduzidos in *initio*. A fig. 7 ilustra como se desenrola o mecanismo de aproximação ("fecha", b) e de divergência, de afastamento ("abre", a) das órbitas do atrator caótico, gerando um verdadeiro embaralhamento de sua estrutura. Os SAUTOG's exibem um comportamento cuja estrutura subjacente é nitidamente caótica (cf. Fig. 8). V. "nebulosa de pontos" que caracterizam seu estado e o esboço gráfico de sua evolução, Fig. 9 (12). Eviden-

-
- (11) George, J., 1973, p. 517. O artigo trata, igualmente, da aplicação da teoria da catástrofe aos aspectos bioquímicos da "esquizofrenia catatônica cíclica".
- (12) Esse esboço gráfico corresponderia ao conceito abstrato de "espaço do estado" dos sistemas dinâmicos. Evitamos usá-lo, por uma questão de prudência, por estarmos, ainda, em etapa exploratória dos SAUTOG's. Comportam, porém, as duas condições essenciais de um sistema dinâmico: uma lei de evolução temporal (dinâmica) e a noção de estado (os componentes do sistema: em nosso caso, n (nos naturais) e X_n (X nos naturais);

temente, por sua própria definição, não são sistemas, estritamente, caóticos. Não; apresentam, visivelmente, aspectos ordenados: a ordem no caos, conforme está sendo exposto, é subjacente, sob formas geométricas estranhas. Aqui a geometria é aparente, embora, também, estranha, mas imiscuída de aspectos lineares e não-lineares. Aqui, por igual, não vale a questão de escala (*). Talvez isso fique justificado pelo fato de tratar-se de sistemas discretos. Os esboços gráficos são confeccionados, arbitrariamente, embora respeitada - é claro - a vigência da referência recíproca. Esse aspecto crítico é que assegura o que chamamos de caráter não-ordinário de tais sistemas, pelo tipo especial de dinâmica que induz no sistema.

Outra questão que escapa aos SAUTOG's, comparativamente aos sistemas dinâmicos, refere-se aos pontos fixos e órbitas. Existem casos que evoluem para um único ponto. O germe (os componentes do estado inicial) não é co mutativo. Por exemplo: (1,2,3,4,5,6) evolui indefinidamente; já o germe (1,2,4,3,6,5) leva o sistema a "parar" em 10: (1,2,4,3,6,5), 3, 10. Uma vez que o módulo de 10 é maior que $n - k$ ($k = 1, 2, \dots, n-1$), o sistema não pode evoluir. Nada, porém, autoriza afirmar que teria sido "atraído" por 10. - cf. Lei de Formação, no Preâmbulo.

Uma diferença adicional refere-se ao fato de os SAUTOG's, no presente momento, se definirem no domínio do discreto, contrariamente aos sistemas dinâmicos. Assim sendo, o esboço gráfico de sua evolução assume uma forma, completamente, arbitrária, embora legítima, porque preserva a dinâmica prescrita por sua Lei de Formação.

no caso do pêndulo, os componentes são velocidade e posição; no exemplo do cão, a raiva e o medo (v. texto em páginas anteriores).

- (*) A não ser no caso da representação "nebulosa": à medida que se aumenta a escala, "detalhes" também começam a aparecer, embora no caso seja, tão só, a distância entre os pontos - cf. Fig. 9.

Uma última diferença poderia ser resumida pelo espírito da nota (*): não há como fazer sobressair detalhes, através de modificação de escala. Talvez isso possa ficar justificado pelo caráter discreto dos SAUTOG's. Ou ainda (ou por ambos) por exibir, simultaneamente, ao aspecto não-linear e de linearidade - o que não acontece com os sistemas caóticos. Em suma, talvez tudo isso se permita resumir numa conjectura: as diferenças se dão porque os SAUTOG's são não-ordinários (*).

A exposição sobre sistemas caóticos, dotada, não obstante, de uma geometria subjacente, de uma ordem, portanto, leva a um última proposição que faz implicar aspectos epistemológicos.

Proposição V - Necessidade de uma nova concepção de ciência

A nosso ver, essa uma das mais extremas consequências a que leva o estudo de sistemas caóticos. A ciência que sempre se pautou pelo paradigma da ordem, da harmonia, da racionalidade, da comensurabilidade, se vê compelida a ter que rever esse referencial. Cenário dessa natureza já se vem esboçando, contemporaneamente (13).

Os autores referidos na nota (2) aduziram algumas considerações a propósito: "A descoberta do caos criou um novo paradigma de modelos científicos. De um lado, novos e fundamentais limites na habilidade de se fazer previsões. De outro, a identificação de um determinismo ineren-

(*) Por outro lado, a semelhança fundamental de ambos reside no caráter autônomo de que são dotados: a dinâmica se instala, se desenvolve e se expande sem nenhuma influência externa. É autôgena. Em nosso caso, autogênica e não-ordinária (essa, por razões que se explicitaram no texto).

(13) Cf. referências a obras de Prigogine, Thom, Wheeler, Bohm e, de certo modo, de Mandelbrot, em Maluf, 1987, 1986 e 1983.

te ao caos, levando a que muitos fenômenos, antes supostos aleatórios, se revelassem passíveis de serem previstos. In formulações que, no passado, aparentavam aleatoriedade e de certa maneira ficaram relegadas por serem muito complicadas, podem, agora, ser retomadas e explicadas em termos de leis muito simples... Tudo isso acarreta uma verdadeira revolução que já se faz sentir nos diversos ramos do conhecimento científico".

A finalidade dos SAUTOG's se encaixa, perfeitamente, aqui. Nosso intuito é pesquisar certas propriedades dos SAUTOG's que nos ensejem demarcar uma via alternativa de perquirição científica, principalmente no que tange à epistemologia em psicologia e em sistemas humanos, em geral. Tentativas incipientes a respeito já foram expostas (v. referência de um de nós (Maluf) em a nota (13)). Basicamente, estamos procurando interpretar certas relações, originárias da Lei de Formação dos SAUTOG's, e formular algumas proposições "epistêmicas" essenciais, tais como: sistemas fortemente interativos são indivisíveis" e, complementariamente "a unidade absoluta em tais sistemas é impossível de ser identificada". Isso quer dizer: por mais que se chegue a um componente "último", sempre se poderá ir mais além e encontrar componentes e, assim, ad infinitum (*).

O motivo da presente comunicação se prende ao fato de - conforme se fez prenunciar no Preâmbulo - fazer-se necessária uma divulgação mais extensa a respeito do caos - principalmente para a área das ciências humanas e, mais especificamente, para a psicologia e cotejar aspectos da respectiva literatura (como a da referência da nota (2)) com os resultados por nós obtidos na investigação dos SAUTOG's. E isso com um objetivo adicional: mostrar que estes últimos sistemas exibem uma característica singular, ou seja, aspectos simultâneos de linearidade/não-linearidade, o que os torna não-ordinários, conferindo-lhes, tal-

(*) A referência da nota (13), Maluf 1987, traz uma breve análise dessa proposição. Aparentemente nos faz crer numa possibilidade de se falar sobre fractais, de uma forma discreta e não, contínua.

vez, uma plasticidade maior que os demais (inclusive o caos estrito) para aplicação aos sistemas humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUTCHFIELD, J.P.; FARMER, J.D.; PACKARD, N.H. and SHAW, R. Chaos. Scientific American, dec., 38-49, 1986.
- GEORGE, J. Mathematical models and bifurcation theory in biology, In Conrad, M., Güttinger, W. and Dal Cin, M. (Eds.) Physics and Mathematics of the Nervous System. Institute for Information Sciences. Tübingen, 1973.
- GÜTTINGER, W. Catastrophe geometry in physics and biology. In Conrad, M.; Güttinger, W. and Dal Cin, M. (Eds.) Physics and Mathematics of the Nervous System, Institute for Information Sciences, Tübingen, 1973.
- HOFSTADTER, D.R. Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid. Vintage Books, 1980.
- MAIA, L.P.M. Mecânica Clássica, V.2. Rio de Janeiro, UFRJ, 1977.
- MALUF, U.M.M. Introdução à Ergonomia dos Sistemas. RJ, FGV/CEBERC, 1982. pp. 45
- _____. Prolegômenos a uma Epistemologia Irracional em Psicologia. Arq. Brasileiros de Psicologia. 1: 11-39, jan./mar., 1983.
- _____. Sistemas autogênicos não-ordinários e sua possível implicação epistemológica para a interação nos sistemas humanos. Arq. Brasileiros de Psicologia. 32 (1): 20-38, jan./mar. 1986.
- _____. Pitágoras. Matemática Experimental e Inteligência Artificial: o intercâmbio ordem/caos. 4º Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial. MG. Uberlândia, out. 1987.
- _____. Epistemologia Artificial, Hegemonia da Máquina, Informatização da Sociedade e seu Impacto sobre o Humano. XX Congresso Nacional de Informática. SUCEU, SP, 1987a. pp. 55-62.

MAY, R. Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, 261: 459-467, 1976.

MANDELBROT, B. Les objets fractals. La Recherche, 9 (85): 5-13, Jan., 1978.

PRIGOGINE, I. La thermodynamique de la vie. La Recherche, mai., 547-562, 1972.

PRIGOGINE, I, & STENGERS, I. La nouvelle alliance: la metamorphose de la science, Paris, Gallimard, 1979.

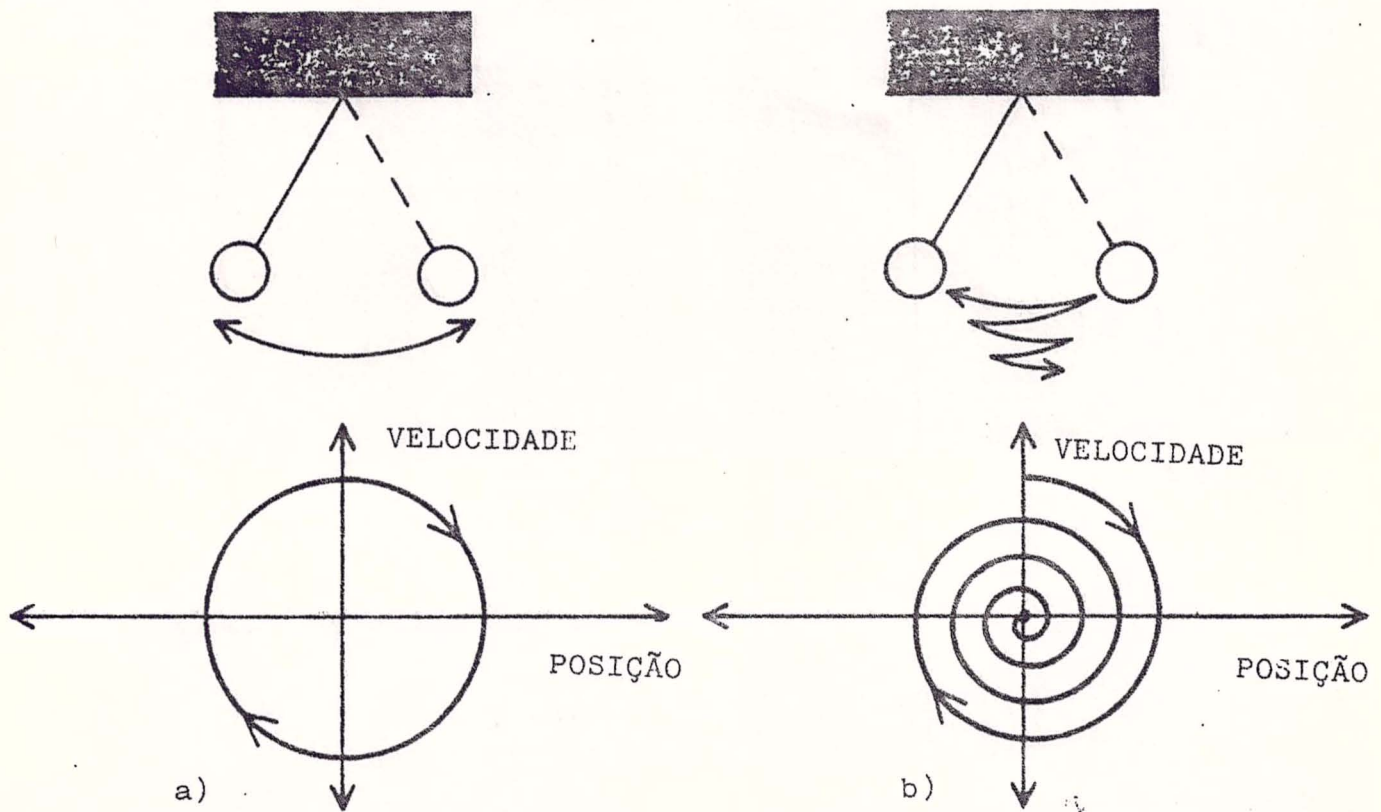
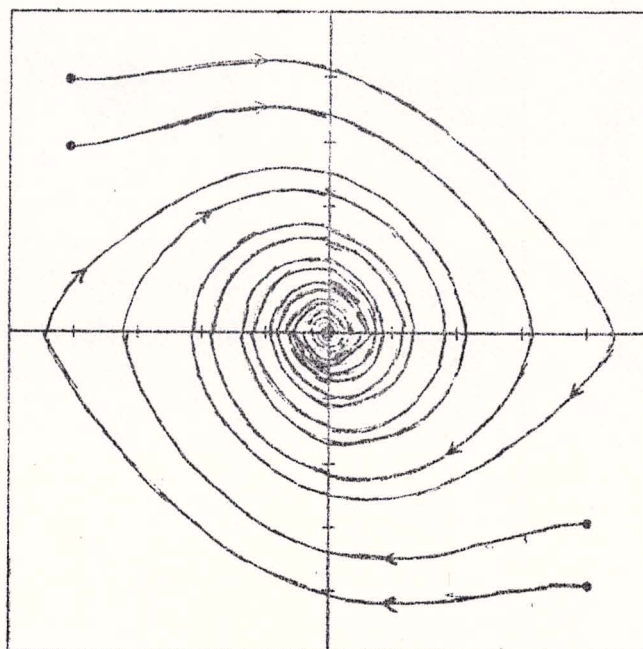
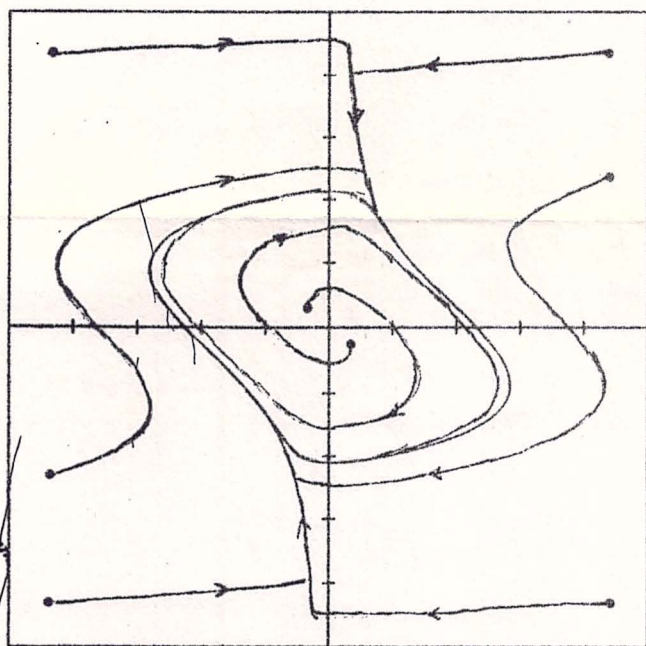


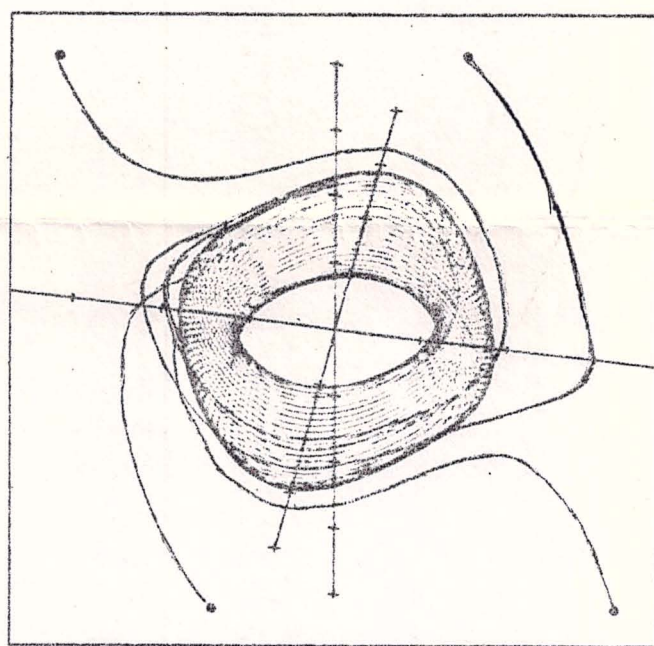
Fig. 1 -Visualização do comportamento de um sistema dinâmico simples: o de um pêndulo, cujo espaço de estado (v. definição nota (12)) são posição e velocidade. Sem resistência do ar, segue uma órbita fechada (um ciclo)-a-; com resistência, é atraído para um ponto, o ponto atrator - b



a)



b)



c)

Fig. 2 - O tipo mais simples de atrator é um ponto fixo como o de b) da fig. 1 e a ilustração (a), acima; um mais complicado, um ciclo (b), que descreve os batimentos cardíacos. Um mais complicado ainda que descreve comportamento quase-periódicos é o atrator torus (c). Todos os três são previsíveis.

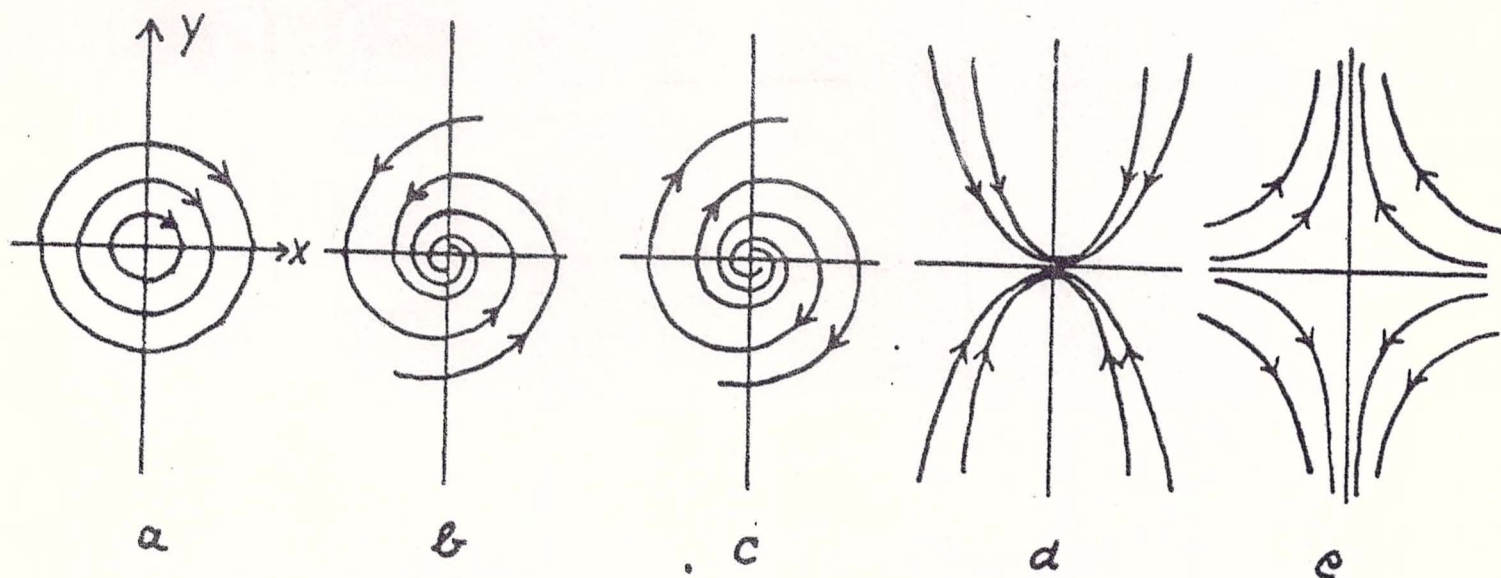


Fig. 3 - Descrição do comportamento de um oscilador harmônico linear (um pêndulo; um bloco de massa \underline{m} suspenso a uma das extremidades de uma mola, de constante igual a \underline{k} e massa desprezível, cuja outra extremidade está presa a um suporte fixo (Maia, 1977, p.118). a), órbitas concêntricas ao redor do centro 0; b) 0 como ponto atrator ou repulsor (c); d) 0 é um nódu-lo estável e o oscilador aperiódico; e) 0 é denominado "ponto em sela", quando se modificam termos na respectiva equação diferencial (apud Güttinger, nota 10, p.6).

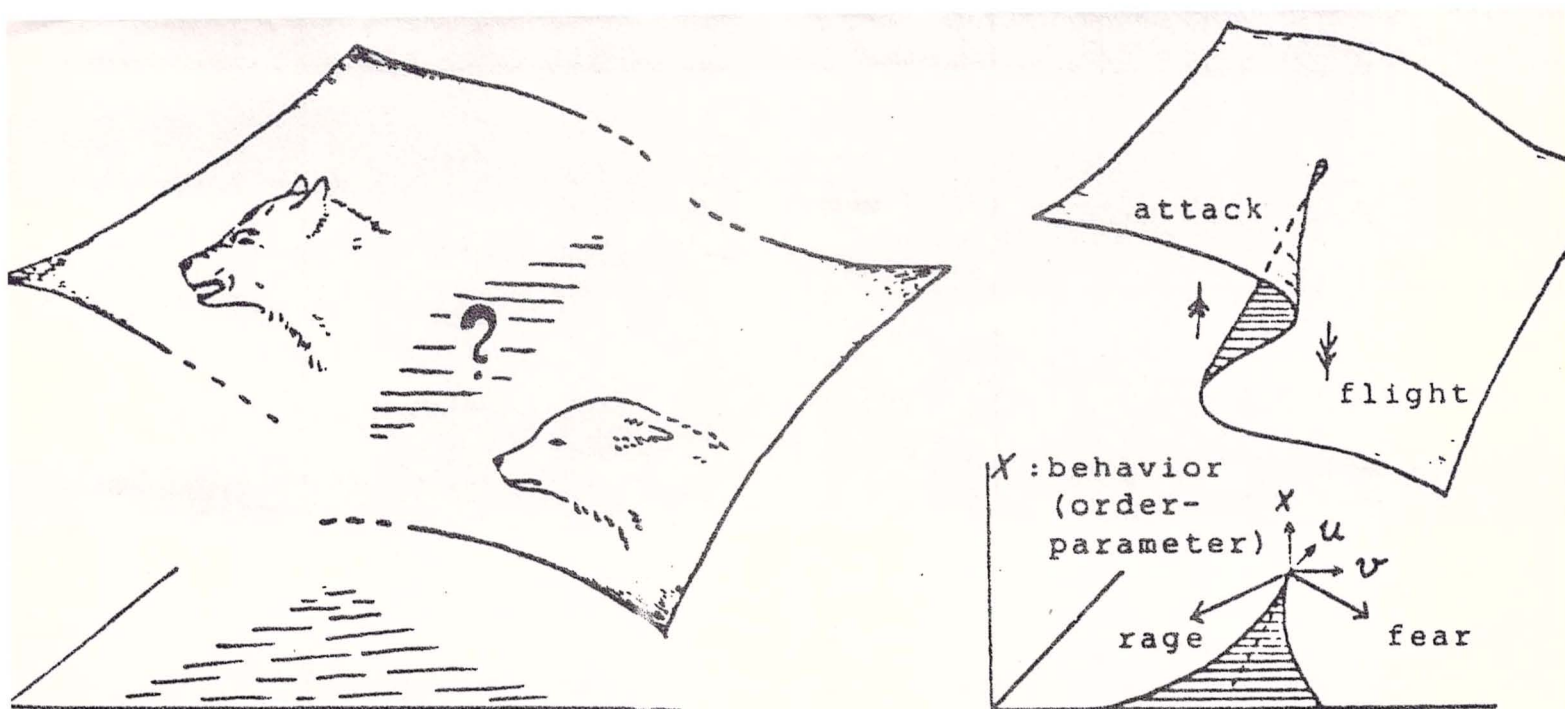


Fig. 4 - Os cães de Lorenz exibem um comportamento agressivo de dois polos opostos, ataque ou fuga (dependente de seus estados emocionais, raiva ou medo) que poderiam ser interpretados como pontos fixos atratores, isoladamente, apud Güttinger (nota, 10, p.4).

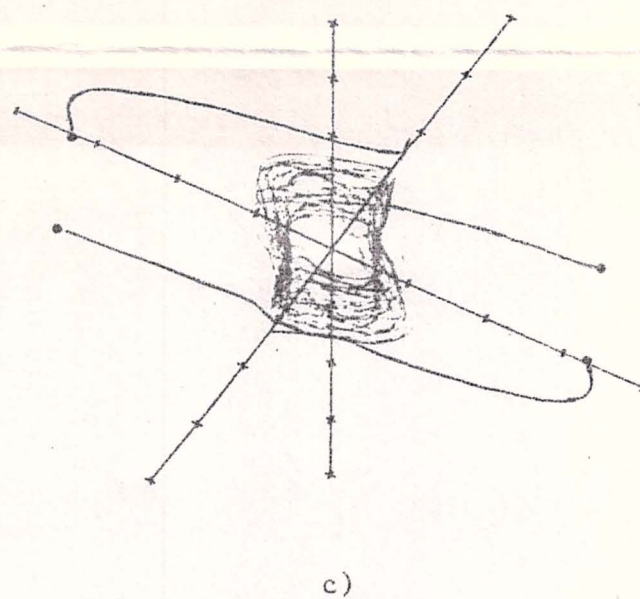
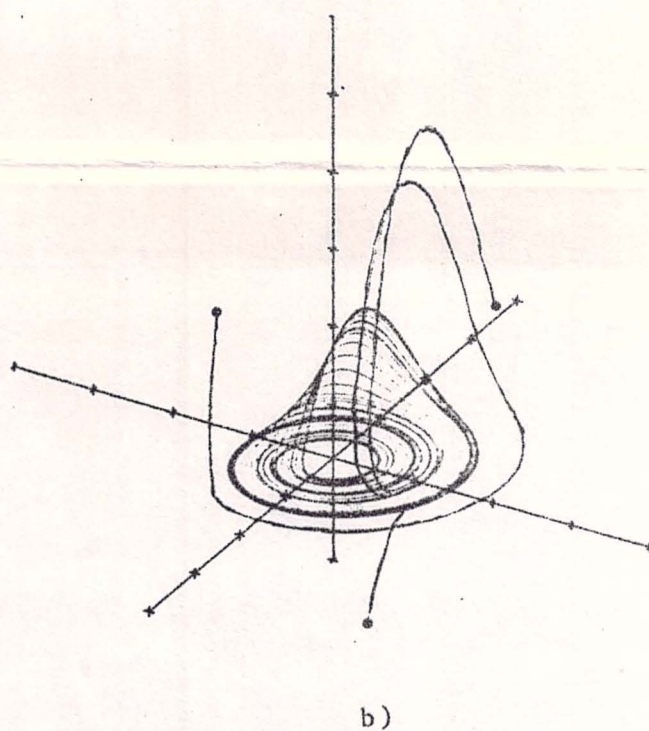
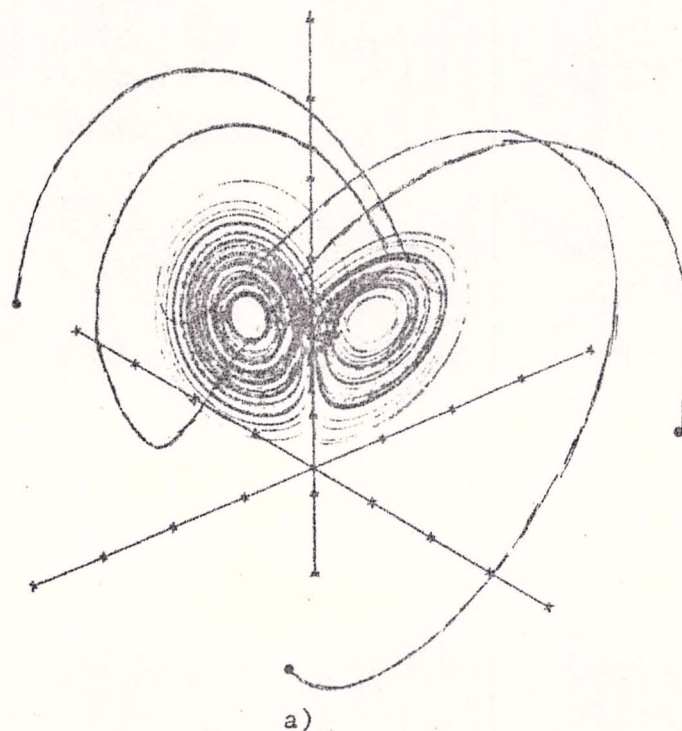
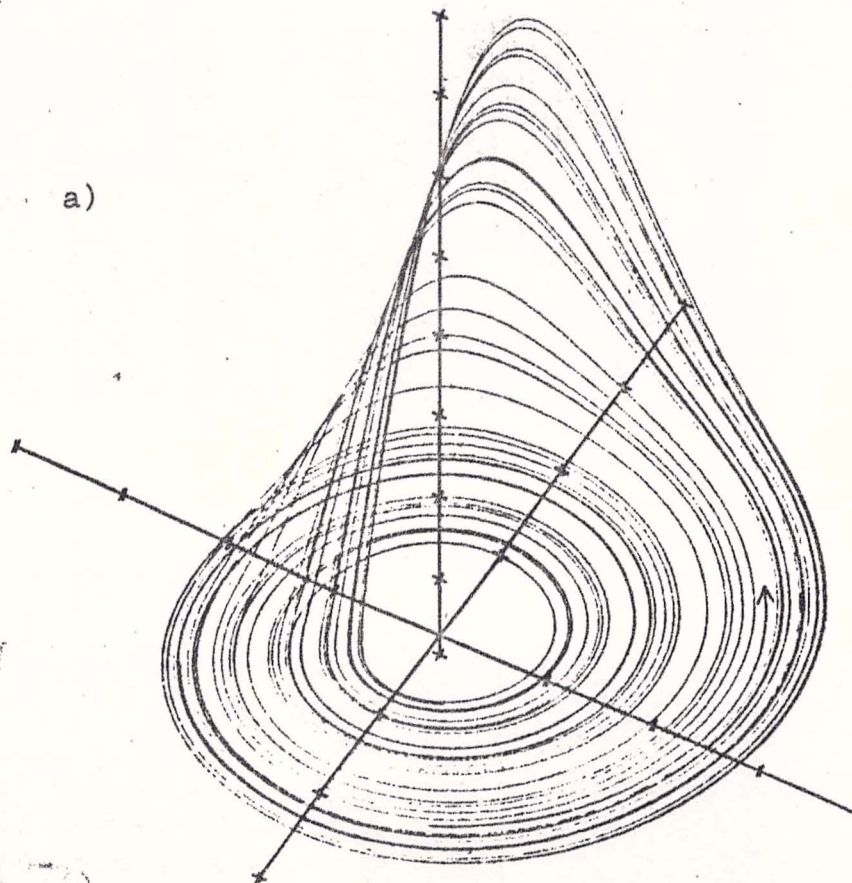


Fig. 5 - Atratores caóticos são, totalmente, imprevisíveis e exibem formas geométricas, naturalmente mais complexas: a) atrator de Lorenz (que tudo começou...); b) atrator de Rössler e c) atrator de Shaw.

a)



Figs. 6a) e b) - Ilustração do efeito de escala de observação, aplicada ao atrator caótico de Rössler: os detalhes das órbitas começam a surgir com a amplificação. O que estava junto, aparece separado (diverge). É o "abre-e-fecha" do texto ("stretch and fold" na referência original). Aqui é uma simples "ampliação" gráfica, mas já fornece uma idéia aproximada do que acontece com a amplificação dinâmica. Comparem-se as figs. a), b) e c): (b) amplia (a) 1x; (c), 2x .

b)

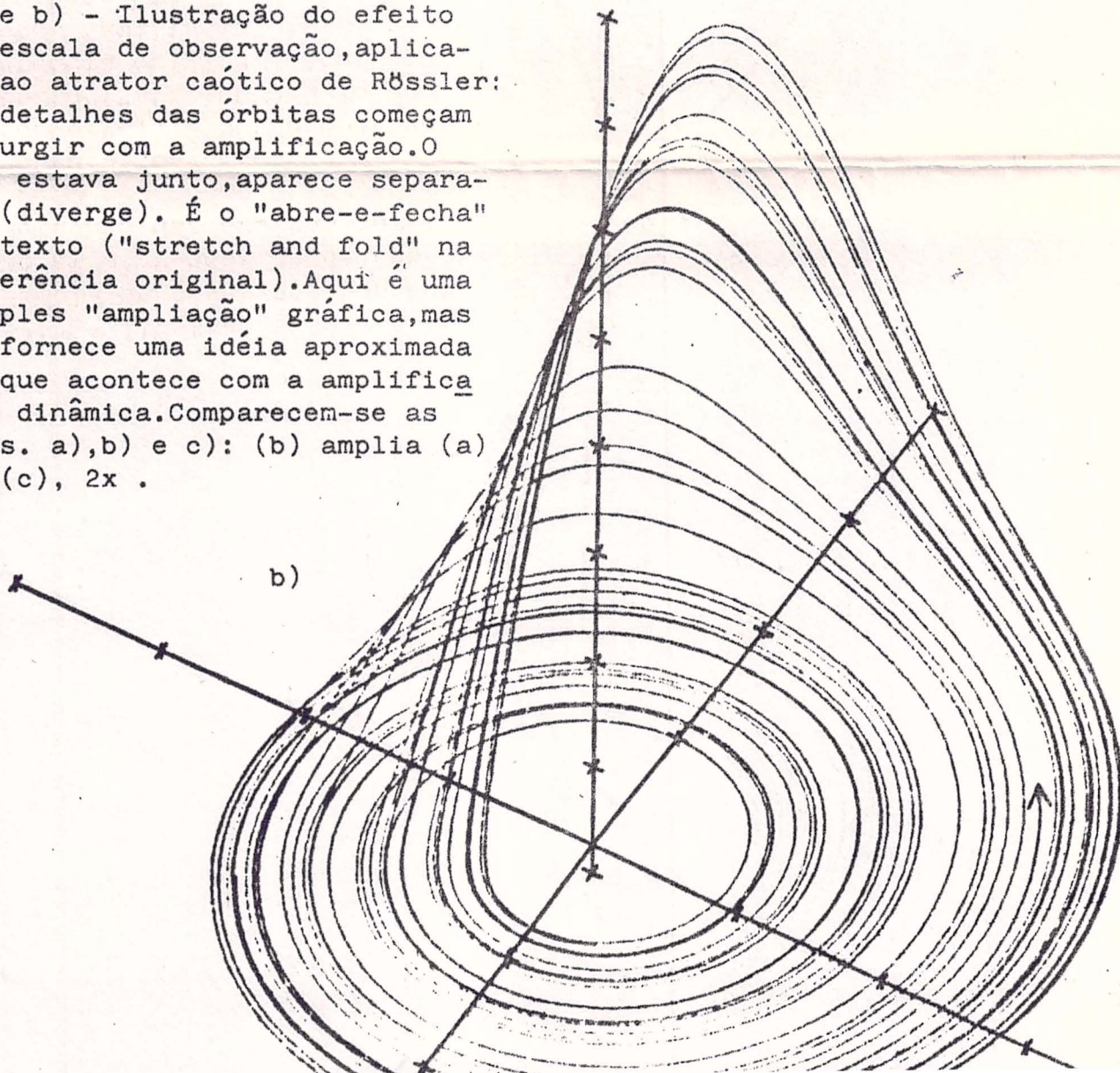
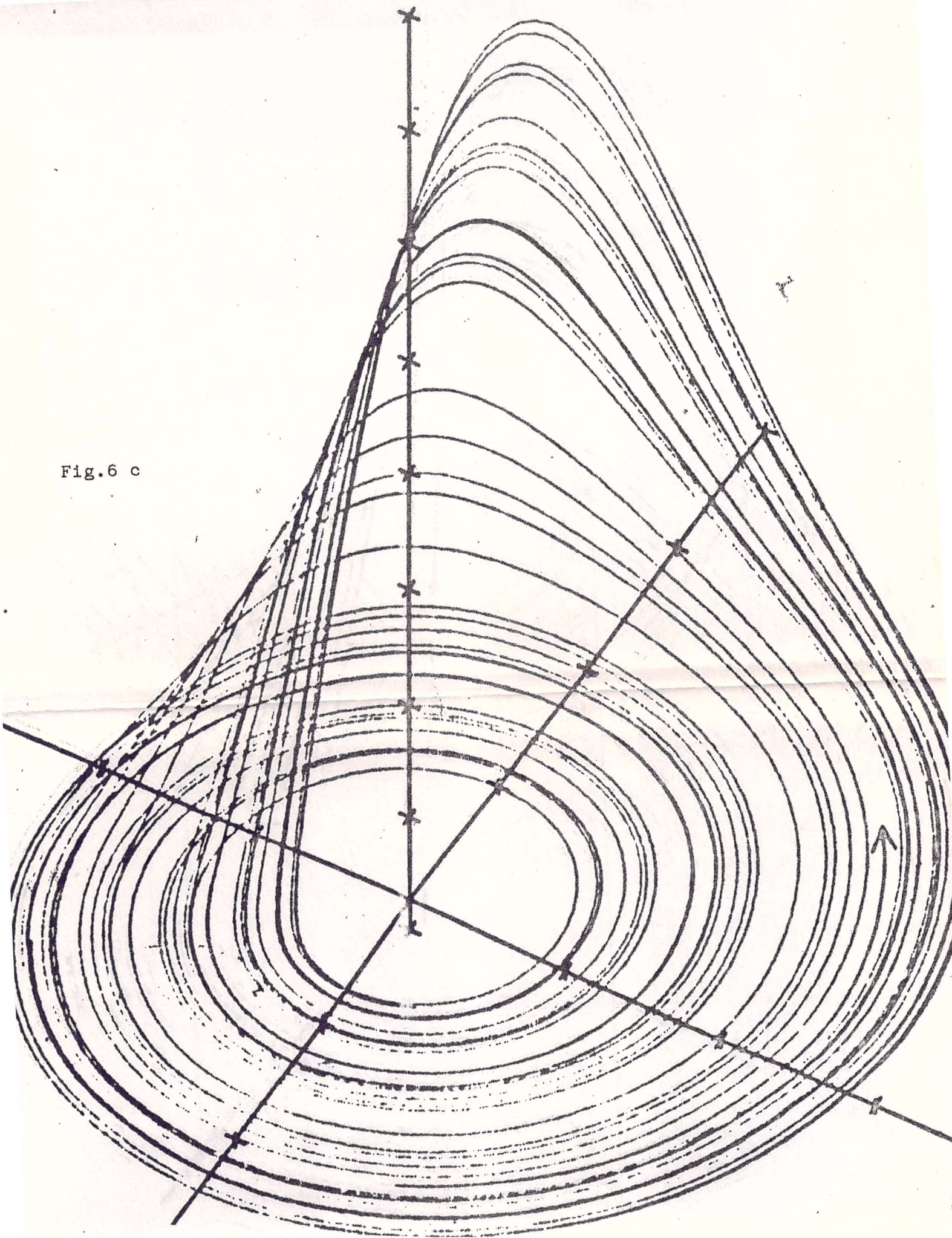


Fig.6 c



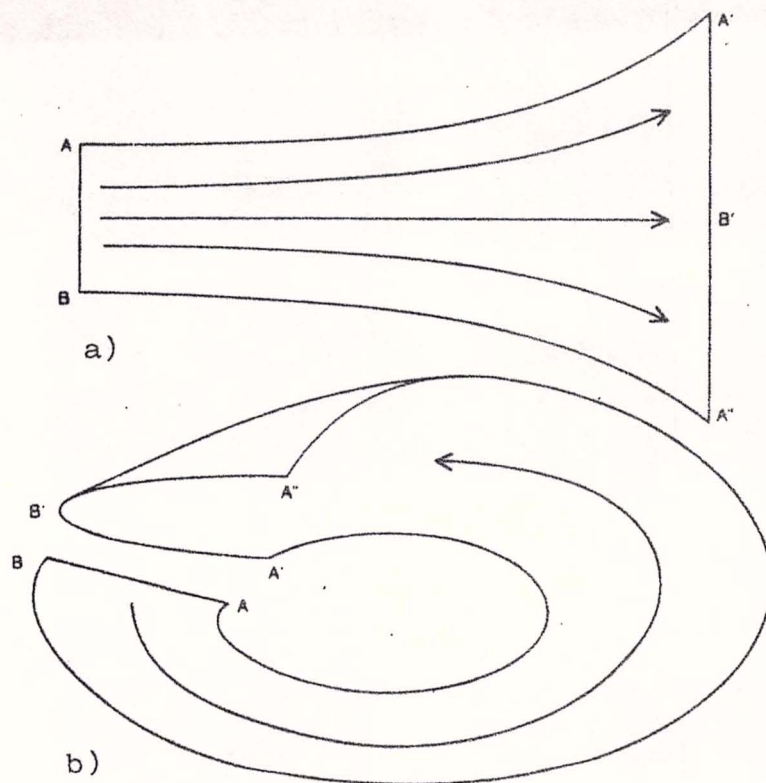


Fig. 7 - A chave do comportamento caótico está na simples operação de "abre" (porque os atratores são finitos, suas órbitas não podem divergir exponencialmente para sempre) e "fecha" (embora em trajetórias distintas, devem aproximar-se em algum ponto) . A aleatoriedade das órbitas caóticas assenta-se no resultado desse processo de embaralhamento . a), "abre"; b) "fecha" .

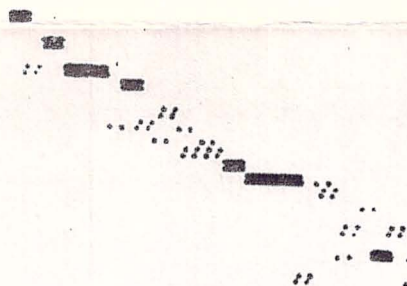
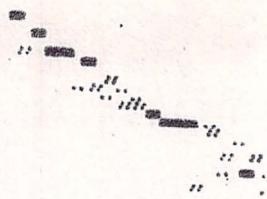
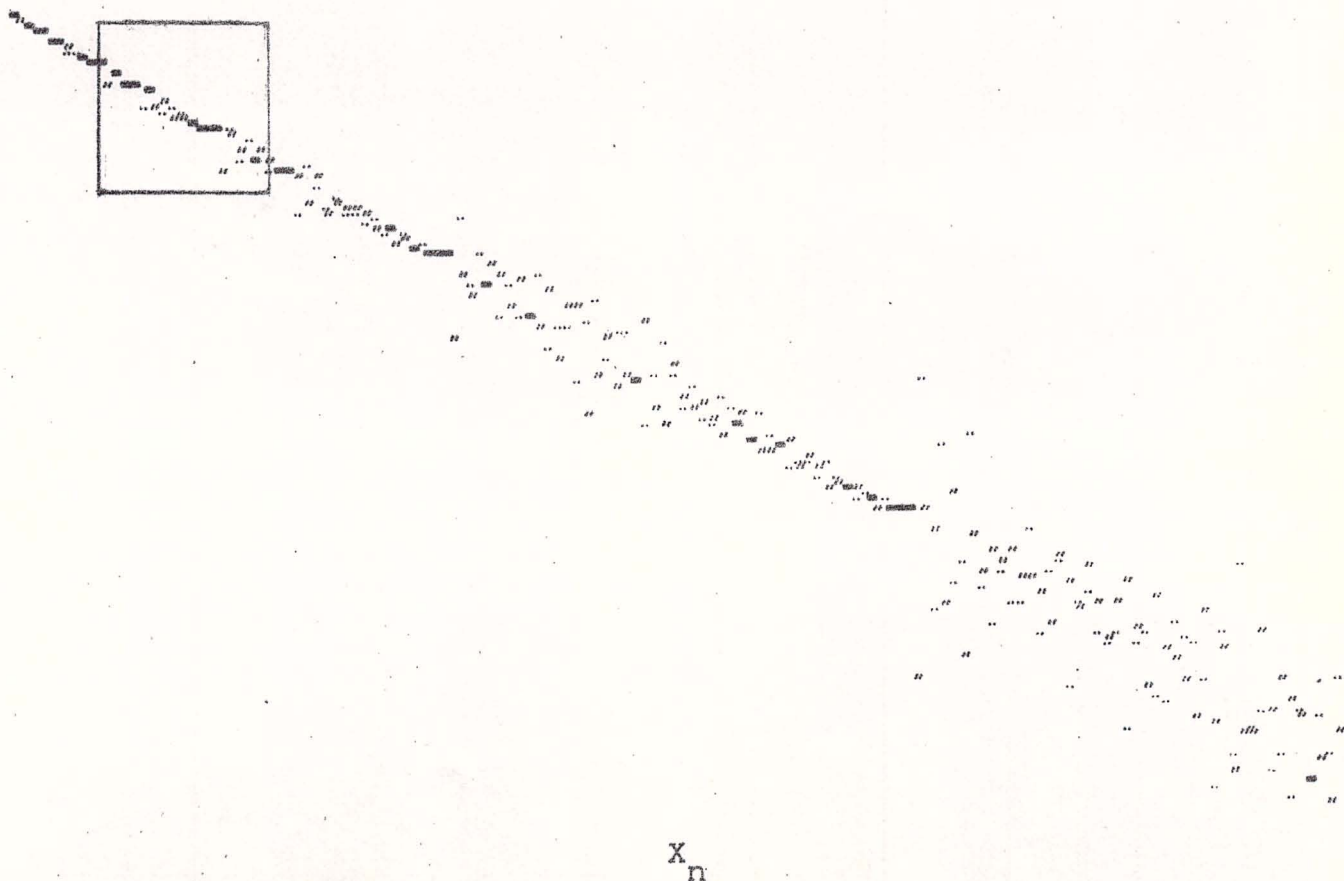
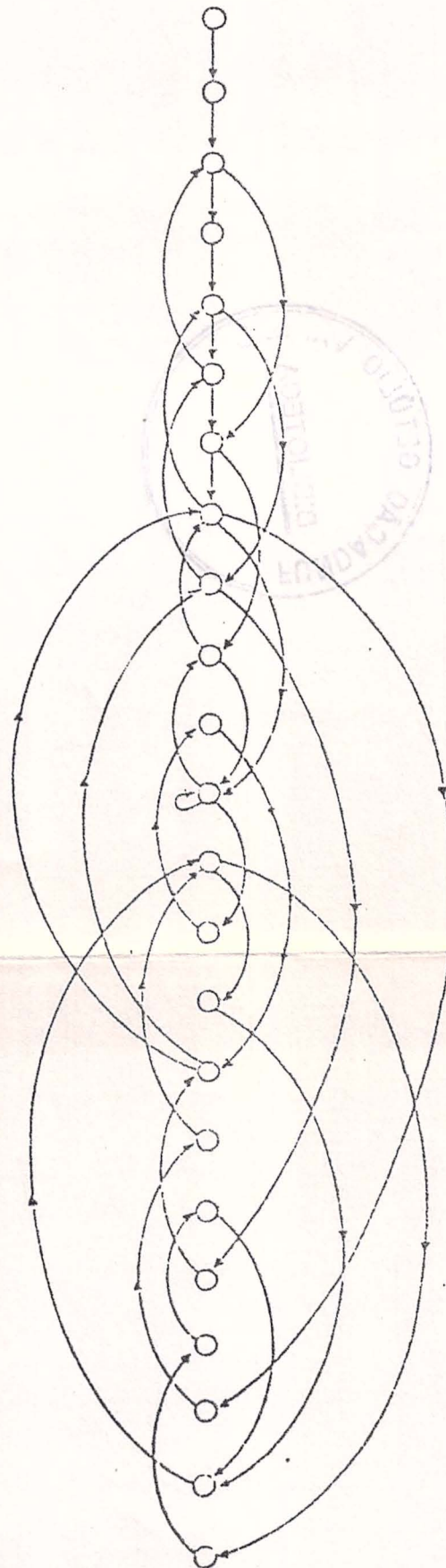


Fig. 8 - "Nebulosa de pontos" gerada pelo SAUTOG de germe (1,2). Deve-se ressaltar que, mesmo próximos, os pontos estão "distantes" no tempo. Isso deve-se ao efeito da "referenciação recíproca" que induz a dinâmica "não-ordinária" ao sistema. A área delimitada pelo quadrado foi amplificada 1x -a- e 2x -b-: tem-se oportunidade de observar maiores detalhes, em função da mudança de escala, à igual maneira que para os sistemas dinâmicos. Cf. texto. Cumpre ressaltar, aqui, relativamente às demais figuras, que todas foram copiadas da referência da nota (2).

GERME: (1,2,3,4,5,6)



Des. C. R. M. 1972

Fig. 9 - Esboço gráfico da evolução de um SAUTOG cujo germe é (1,2,3,4,5,6). De certo modo, o "tempo" e o "espaço" autogênicos se intermesclam -cf. texto, principalmente 0.2, no Preâmbulo.

