SISTEMAS COMPLEXOS E ACENTRISMO SOCIAL

António Machuco Rosa

Sumário

Neste artigo procedemos a uma avaliação geral de um movimento de ideias que se originou em algumas versões do pós-modernismo e se baseia na "idade da informação", movimento que designamos por acentrismo social. Ele também assenta em alguns dos resultados das chamadas 'ciências da complexidade', pelo que será a partir dessa área disciplinar que desenvolveremos a nossa argumentação. Obtemos desse modo a distinção fundamental entre sistemas funcionando a tempo rápido e sistemas funcionando a tempo lento. Mostrando que essa distinção intervém de forma essencial nos modelos dos fenómenos sociais, em particular nos modelos da economia, sustentaremos que o acentrismo social envolve um paralogismo e pode ser fonte de ilusões.

É um facto recorrente ao longo da história a existência de uma migração progressiva de conceitos oriundos de domínios científicos e tecnológicos para o âmbito de projectos de arquitectura social ou, mais genericamente, para o campo das ideologias de conteúdo mais ou menos definido. Essa passagem está normalmente associada ao que se estima serem revoluções científicas cruciais, e cujo conteúdo se torna então o princípio geral estruturante de qualquer tipo de arquitectura. Assim sucedeu com a revolução da física moderna (com Newton, digamos), a qual originou transposições conceptuais que se estenderam a outras áreas que assim visavam adquirir o estatuto de "científicas" – por exemplo: a psicologia com Hume ou a biologia com Buffon. Simultaneamente, essa revolução formou o imaginário ideológico da arquitectura social. Este vasto movimento foi designado por "mecanicismo", um termo cuja coloração sempre possuiu um caracter transdisciplinar simultaneamente aplicável ao reino da natureza e ao reino social e moral.

Estaríamos actualmente a viver uma condição semelhante. Certos avanços fundamentais em ciência, em conjunto com certos desenvolvimentos mais específicos ligados à computação, estariam a contribuir para a formação de um novo paradigma, cuja importância residiria não apenas nas novas tecnologias por ele geradas, mas também na forma como essas tecnologias seriam a base de mutações sociais profundas, elas próprias desenvolvendo-se segundo as linhas teóricas do paradigma. Em termos genéricos, seria esse o significado profundo da "sociedade da informação". É assim que novas técnicas em robótica, aproximações discretas à mecânica dos fluídos, como os autómatos celulares, diversas técnicas de computação distribuída, algoritmos de busca de soluções, como as redes neuronais formais ou os algoritmos genéticos, etc., isto é, aquilo que em geral aqui designamos por estruturas formais acentradas e auto-organizadas, surgem como o ponto de partida para uma nova visão global da técnica e da sociedade. Um exemplo característico é fornecido pelo *best-seller* de Kevin Kelly (Kelly, 1995). As teorias mencionadas teriam uma correspondência imediata nas novas formas de *performance* económica e encontrariam o seu emblema dominante no desenvolvimento e estrutura da meta-rede mundial de computadores, a *Internet*. Kelly resume da seguinte forma a oposição entre a "idade mecanicista", "industrial", e a "idade da auto-organização", a "idade da informação":

- Em tarefas onde se pede o máximo controle, a melhor forma de as fazer é seguir o bom e velho método do relógio.
- Quando se exige grande adaptabilidade, o método dos sistemas em enxame e fora-de-controle é aquilo de que vocês necessitam (Kelly, 1995, p. 24).

A "adaptação" sem controle, sem centro de controle, seria uma forma de evolução e de *design* de novas tecnologias envolvendo um progresso, a passagem a algo "bom". A "idade da informação" seria caracterizada por processos acentrados, distribuídos, funcionando em paralelo, com as trocas a serem realizadas de forma local, isto é, sem uma instância global e exterior de coordenação. Isso garantiria um "progresso", uma melhor funcionalidade. Mesmo no domínio da natureza, a biologia seria disso exemplo:

A biologia testemunha uma inevitabilidade – quase uma certeza matemática – que a complexidade fará mover para diante (Idem, p. 182).

Esta ideia, segundo a qual as "ciências da complexidade" mostram que as estruturas acentradas, distribuídas, fluídas, fazem "mover para diante", é igualmente um tema dominante do livro *Compexity & Postmodernism* do filósofo P. Cilliers (Cilliers, 1998). As ciências da complexidade, e em particular as redes neuronais artificiais, encontrar-se-iam em ressonância profunda com as ideias pós-modernas de autores como J-F. Lyotard. Neste autor, o conceito de paralogia seria gémeo do conceito de diversidade enquanto base dos processos naturais de auto-organização. E assim:

Quando mais diversa a estrutura, mais rica é a informação que pode ser armazenada e manipulada (Cilliers, 1998, p. 117).

A diversidade (e mesmo a máxima diversidade) é um factor de optimização permitindo a uma estrutura exibir um leque de propriedades que são supostas, nalgum sentido, serem "enriquecedoras" e, portanto, "melhores". Cilliers vai mesmo mais longe, estimando que:

A complexidade organizada é a fonte da vida, da liberdade e novidade no planeta terra (Idem, p. 127).

Nesta visão, as ciências da complexidade surgem como podendo automaticamente (através das tecnologias que se lhe encontram correlacionadas) fundar um reino moral (um reino moral "bom"). Não é necessário referir que essa relação de fundação é estabelecida em termos

vagos: importa no entanto sublinhar que, mesmo que a relação entre "diversidade", "auto-organização" e "liberdade" seja apenas uma ressonância, essa ressonância, como veremos, é falsa, visto não ser base de uma qualquer analogia real.

Pode mostrar-se (Machuco Rosa, 1996) que as ideias do movimento filosófico designado por 'pós-modernismo' se encontram realmente presentes em alguns autores que, inspirando-se na existência de tecnologias funcionando de modo acentrado e distribuído, fazem igualmente o salto para o acentrismo social. As tecnologias inspiradoras não são apenas as novas concepções de *design* de *robots*, mas igualmente algumas das actuais tecnologias da informação, como é o caso da meta-rede de computadores *Internet*. É efectivamente verdade afirmar-se que a *Internet* é uma tecnologia acentrada de transmissão de informação através de um canal. É ainda verdade que uma rede como a *World Wide Web* se desenvolve segundo princípios de conexão local. E é ainda verdade que o desenvolvimento histórico das redes de computadores foi imprevisível, espontâneo, sem obedecer a qualquer plano central previamente delineado, resultando em larga medida num médium de comunicação dificilmente antecipado pelo fundadores (*Cf.* Machuco Rosa, 1998). E, adicionalmente, é um facto que essas características geraram um tipo específico de ideologia social acentrada, tal o proposto por organizações de activistas *on-line* como a *Electronic Frontier Foundation*. K. Kelly, ele próprio próximo desse movimento, inspira-se na estrutura da *Internet* para desenvolver uma visão quase mística:

O ícone da Net não tem centro (...). A Net é o arquétipo capaz de representar todos os circuitos, toda a inteligência, toda a interdependência, todas as coisas económicas sociais e ecológicas, todas as comunicações, todas as democracias, todos os grupos, todos os vastos sistemas.(...) A Net é um emblema de múltiplos. Dele provém o ser em enxame – o ser distribuído – difundindo o Eu pela totalidade da teia pelo que nenhuma parte pode dizer "Eu sou o Eu". Ele é irreprimivelmente social, veiculando a lógica quer do Computador quer da Natureza(...). Escondido na Net está o mistério da Mão Invisível: controle sem autoridade (Kelly, 1995, p. 26).

Nesta visão, a *Internet* reflectirá, mais exactamente, será um automatismo tecnológico possibilitando uma reorganização geral das múltiplas estruturas do social em direcção à "democracia" como sistema de "controle sem autoridade". Conceitos sociais como "centro de comando", "previsibilidade", "hierarquia", etc., tenderiam a desaparecer e a ser substituídos por noções descrevendo o desenvolvimento das estruturas sociais segundo o princípio de localidade e acentrismo. De acordo com N. Negroponte:

Ser digital (...) descentraliza, aplana(...). O aspecto mais espantoso da Net é que ninguém está ao comando. A Net coloca em questão todas as noções centralistas e, por exemplo, a hierarquia desaparece (Negroponte, 1997).

O guru da gestão Don Tapscott é ainda mais enfático:

O paradigma tecnológico do passado – os mass media e o antigo modelo do computador – eram hierárquicos, imutáveis e centralizados. Nessa medida, eles veiculam os valores dos seus poderosos proprietários. Os novos media são interactivos, maleáveis e com controlo distribuído. Eles serão aquilo que nós quisermos que eles sejam. Eles farão aquilo que nós determinarmos (Tapscott, 1996, p. 320).

E mesmo autores mais sóbrios como Rocha e *al* (Rocha e al, 1998) não deixam de salientar as características "optimizadoras" dos processos de auto-organização, e em particular da Internet:

Os processos da nossa dinâmica social, que previamente se baseavam em formas de comunicação mais afectadas pelo ruído, mais lentas e espacialmente concentradas, têm agora o potencial para formarem uma relação simbiótica entre os homens e a Net, permitindo às já existentes capacidade de auto-organização operarem a um superior nível de funcionalidade.

Que dizer acerca deste tipo de discursos? Afirmamos que supõem um paralogismo presente na passagem dos juízos científicos, e da estrutura de certo tipo de tecnologias, para o campo das estruturas sociais, especialmente quando estas são avaliadas do ponto de vista da eficácia e do que é estimado como eticamente correcto. Mas eles envolvem também várias ilusões que poderemos colocar em destaque analisando algumas das teorias e tecnologias em que os autores do moderno acentrismo social se baseiam. Veremos então que, talvez um pouco paradoxalmente, a aplicação das ideias provindas do vasto núcleo disciplinar imprecisamente designado por "ciências da complexidade" sugere conclusões em larga medida opostas às que os proponentes de uma nova sociedade baseada em novas tecnologias tendem a extrair.

Seguindo a linha de Cilliers, poderemos começar a avaliar o quadro geral inspirador do acentrismo social a partir de um artefacto conceptual e tecnológico: as redes neuronais artificiais e seus algoritmos. Trata-se efectivamente de uma das teorias que explicitamente inspiraram a ideologia do acentrismo social, e esse exemplo é interessante na medida em que permite introduzir alguns dos conceitos que nos servem aqui de linha de orientação.

Sem entrarmos em todos os detalhes técnicos, é no entanto forçoso tornar claro o conteúdo exacto do conceito de rede neuronal artificial, cujo diagrama simplificado pode ser o da figura seguinte

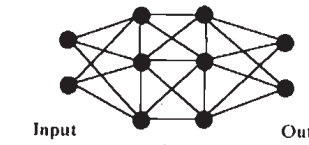

Figura 1

Uma rede neuronal consiste em N neurónios formais que podem assumir certos estados internos $s = \{\#\#\#\}0,1\{\#\#\#\}$ ou $s = [\#\#\#]0,1[\#\#\#]$. Os neurónios encontram-se ligados entre si por certos pesos ou ligações sinápticas W. A associação entre neurónios de entrada e neurónios de saída pode ser definida por:

$$(1) s'_i = \Sigma_j W_{ij} s_j$$

Temos um neurónio i no estado si (activo ou inactivo) que recebe certos pesos ou conexões W provindo de outros neurónios j. Um neurónio si muda o seu estado ao computar a soma dos pesos dos neurónios $s_1,...s_n$ (por exemplo, passa a activo se a soma dos pesos é suficientemente elevada). Representando os estados finais ou outputs $(s_1,s_2,...s_n)$ pelo vector h, os inputs $(s_1,s_2,...s_n)$ pelo vector y e os pesos W pela matriz W, a equação também pode ser escrita de forma mais compactada como $h = wy$.

Quanto à transição dos estados dos neurónios, ela pode ser definida por uma função do tipo:

$$(2)\ s_i = f(A_i) \text{ com } A_i = s_j W_{ij} s_j$$

onde, no caso em que $s = [\#\#\#]0,1[\#\#\#]$, f é a função não-linear sigmoidal $1/(1+e^{-x})$.

Representada uma certa forma através do vector dos neurónios de entrada, pretende-se que a rede restitua na saída uma forma correspondente à forma dada em entrada. Noutros termos, uma rede deve poder aprender e classificar formas. O problema consiste então em, dados os estados internos s, encontrar os pesos adequados W que permitam essa aprendizagem: trata-se de garantir que a rede converge efectivamente para a forma desejada. Um dos algoritmos mais conhecidos que permitem encontrar os W adequados é a lei de Hebb, isto é, se a activação de um neurónio j tende a seguir-se à activação de um neurónio i, então a ligação sináptica entre ambos tende a reforçar-se: $W_{ij} = \#\#\# s_i s_j$ ($\#\#\#$ é uma constante de normalização). Um outro é o algoritmo da retropropagação, que consiste em calcular o afastamento entre a forma obtida e a forma desejada, retropropagando o erro para as camadas anteriores de neurónios (para uma análise detalhada desses algoritmos *cf.* Nadal, 1993).

Torna-se claro que as redes neuronais são um exemplo típico de uma estrutura acentrada. Enquanto calculadores e processadores de informação, as redes neuronais efectuam um cálculo local, distribuído e paralelo. Não existe qualquer unidade central que garanta *a priori* a solução do problema que a rede tem de resolver. Na rede, apenas existem as interacções de neurónio vizinho para neurónio vizinho e as representações não se encontram localizadas em qualquer unidade ou módulo mas sim

distribuídas pelo vector que codifica o padrão de activação da rede. Uma rede resolve o seu problema quando faz emergir um estado invariante global a partir das múltiplas interacções locais W_{ij}.

As redes neuronais formais podem ser consideradas como uma implementação de um sistema dinâmico[1]. Elas envolvem nessa medida um traço essencial da maioria dos sistemas dinâmicos, traço fundamental na medida em que aponta para uma distinção que pode ser tornada básica numa "filosofia natural" e numa "teoria dos sistemas". No caso das redes neuronais, trata-se da distinção entre o espaço dos estados internos *s* e o espaço do parâmetro externo de controle *W*. Os estados internos são "infinitamente" complexos por relação a *W*, e o facto crucial reside em os estados internos funcionarem a um *tempo rápido* por relação ao *tempo lento* da evolução de *W*. Visto ser *W* que permite a aprendizagem e a memória, isto é, depende do parâmetro *W* a formação de uma regularidade macroscópica por relação à acção "microscópica" dos estados internos *s*, resulta que a "ordem" é um processo emergente que implica uma redução das complexidade internas locais e "infinitamente" rápidas. A emergência possui sempre essa característica: qualquer nível macroscópico que emerge de um nível mais microscópico implica uma acção num tempo mais lento que o tempo dos elementos microscópicos locais. Qualquer teoria das estruturas deve ter em conta a existência da dualidade entre o nível rápido e o nível lento sob pena de paralogismos. Os exemplos dessa dualidade são inúmeros (*cf.* Machuco Rosa, 1998 para uma análise detalhada): redes de *spins* no contexto da teoria dos fenómenos de transição de fase (Fisher, 1983, p. 50), modelos cognitivos da locomoção motora (Kelso, 1995), sendo ainda a distinção entre dois regimes temporais que é a ideia fundamental subjacente à Teoria das Catástrofes de R. Thom (Thom, 1974).

Para além do caso das redes neuronais, a distinção lento/rápido conheceu recentemente uma realização tecnológica de grande significado conceptual com o primeiro exemplo de *hardware* evolutivo intrínseco, feito conseguido por A. Thompson em 1995 (*cf.*, Thompson, 1995, 1997, onde poderão ser vistos os detalhes). Refira-se aqui rapidamente que se trata de – usando uma placa de *hardware* onde podemos reconfigurar a arquitectura do processamento do sinal (tipo de placa que se designa por FPGA) – conseguir que a placa discrimine entre duas ondas, uma de 1kHz e outra de 10kHz. Isso foi feito sem recurso a qualquer entidade global de controle (um relógio externo, como sucede nas placas comuns de *hardware*), mas através de um algoritmo genético[2], cuja operação permitiu à placa reconfigurar a sua estrutura de processamento do sinal de modo a realizar a tarefa pedida. O ponto conceptualmente mais significativo reside em a aprendizagem (a morfogénese da placa que reconhece a onda) funcionar a um regime muito mais lento (da ordem dos kHz) que a velocidade de processamento do sinal em cada célula individual da placa (que é da ordem dos nanasegundos). Mais, constata-se ser impossível compactar numa expressão analítica como cada célula individual contribui para a ordem global da placa, isto é, as dinâmicas internas complexas deterministas geram incompreensivelmente uma morfogénese global compreensível. A placa evoluída possui mesmo uma arquitectura extremamente complexa, se comparada com o seu estado inicial (ver figura 2). Veremos já adiante exemplos de uma situação perfeitamente análoga em certos modelos de fenómenos sociais.

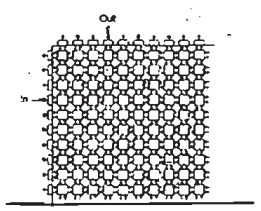

Figura 2 (a)
Uma FPGA antes de ser reconfigurada

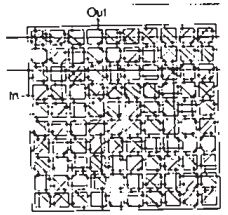

Figura 2 (b)
A FPGA evoluída e que oscila na frequência pedida (segundo Thompson, 1997)

Sistemas dinâmicos como as redes neuronais ou tecnologias como o *hardware* evolutivo apontam para a distinção fundamental entre dois regimes: um funcionando a *tempo rápido* e outro a *tempo lento*. O regime rápido situa-se ao nível dos elementos individuais de um sistema; estes são elementos que apenas interagem localmente com os seus vizinhos e que, portanto, não podem antecipar os efeitos a larga escala das suas "acções", isto é, não podem antecipar o efeito das regras que seguem. Esses efeitos a larga escala dão-se ao nível da ordem macroscópica que emerge a partir das acções locais, e dependem em muitos casos de um parâmetro externo de controle. Pode mesmo dar-se o caso, com grande importância em sistemas sociais, de a ordem global emergente retroagir, e assim controlar, os efeitos locais míopes. Na realidade, esse tipo de situação tornou-se cada vez mais claro quando a teoria dos sistemas dinâmicos se tornou fonte de modelos para o estudo de fenómenos sociais. Isso parece indicar que existe uma ilusão no acentrismo social ideológico: baseando-se na importância das acções locais, o acentrismo social não vê que nada garante que os regimes complexos a *tempo rápido* sejam a garantia de qualquer ideal progressista e emancipador. Pelo contrário.

As anteriores afirmações poderão começar a ser esclarecidas se apresentarmos aquele que pode ser considerado como o exemplo arquétipo dos chamados modelos baseados em agentes, o quais são modelos 'bottom-up' em que os agentes seguem regras locais e em que, portanto, não existe qualquer entidade central e global de controle. O modelo que temos em vista é o modelo de Schelling acerca dos mecanismos da segregação. Esse modelo (Schelling, 1971) consiste numa rede composta por autómatos ou agentes que podem assumir dois estados correspondendo à sua "raça" ou cor: cada um deles ou é V (vermelho) ou A (amarelo). A rede é um autómato celular[3], onde o raio de influência de cada autómato ou agente pode ser o raio de von Neumann (cada agente recebe a influência de quatro agentes adjacentes) ou o raio de Moore (cada agente recebe a influência de oito agentes adjacentes). Essa "influência" pode ser entendida como uma "incitação ao movimento", isto é, cada agente possui "movimento" e desloca-se (ou não) da sua posição para uma outra em função da proporção de indivíduos da sua cor que se encontram no seu raio de vizinhança. Essa proporção é um valor crítico de preferência para que o agente se mova para um outro local. No caso de um raio de vizinhança de Moore, Schelling estipulou que esse nível crítico poderia ser de 37% do número dos seus vizinhos. (Naturalmente que outros níveis podem ser estipulados, com resultados robustos no intervalo 25% > nível de preferência < 50%.) Mais especificamente, o algoritmo que concretiza o modelo de Schelling pode ser assim enunciado:

- cada indivíduos calcula o numero de vizinhos que são da sua cor.
- Se esse número é superior ao nível crítico da sua preferência (se menos de 37% dos seus vizinhos são da sua cor, isto é, se mais de 63% são de cor oposta) ele move-se para um outro local (o mais próximo ou um qualquer outro aleatoriamente escolhido) que satisfaça o seu nível crítico de preferência; caso contrário, permanece no mesmo sítio.

E é tudo. Trata-se efectivamente de um algoritmo particularmente simples. No trabalho inicial de Schelling (*cf.* também Epstein e Axtell, 1996), o modelo era simulado partindo de uma distribuição inicial completamente integrada das duas "raças" – um estado inicial de equilíbrio –, e de seguida era perturbado removendo um certo número de agentes (algumas casas ficam vazias). A perturbação tem como efeito deixar alguns agentes com um nível crítico inferior à sua preferência, o que os leva a moverem-se, o que, por sua vez, vai implicar que outros agentes tenham um número "intolerável" de vizinhos, e assim sucessivamente num efeito em cascata. Mais em geral, pode partir-se de uma disposição inicial aleatória de agentes. Em ambos os tipos de condições iniciais, o resultado final das iterações do algoritmo acima enunciado conduz a um estado final de completa ou quase completa segregação: os V ocupam uma região ("quase todo" o V está rodeado de V's,) e os A outra. Ora, é quase à partida intuitivo que o modelo é analiticamente intratável, o que significa ser impossível "integrar" as suas equações do movimento, isto é, é impossível a dedução explícita e a antecipação completa dos comporta-

[1] De entre as inúmeras obras de introdução à teoria matemática dos sistemas dinâmicos, pode-se consultar o livro, não demasiado exigente do ponto de vista matemático, de G. Nicolis (Nicolis, 1995)

[2] Os algoritmos genéticos foram criados por J. Holland na década de setenta, e são algoritmos que visam reproduzir o processo de selecção natural: escolhem-se aleatoriamente genotipos que se cruzam, sofrem mutações e originam descendentes melhor 'adaptados' à tarefa pedida, um processo que se itera até a solução estar encontrada

[3] Para uma introdução à teoria dos autómatos celulares pode consultar-se (Wolfram, 1994). De entre as inúmeras aplicações dos autómatos celulares à modelação baseada em agentes é forçoso salientar Epstein e Axtell, 1996

Sistemas Complexos e Acentrismo Social

mentos complexos que a regra de movimento gera. A única forma de conhecer algumas das suas propriedades é através da sua simulação ou execução, observando a iteração da acção local da regra. As simulações computacionais mostram claramente que o estado de completa integração corresponde a um ponto fixo instável (no sentido da teoria dos sistemas dinâmicos), enquanto o estado final de segregação corresponde a um ponto fixo estável. Portanto, a partir de um estado aleatório inicial, um padrão ou ordem global emerge, sem que, repita-se, ele possa ser analiticamente deduzido. dinâmicas internas completamente deterministas geram incompreensivelmente estados compreensíveis.

O modelo de Schelling é um modelo local e acentrado. Mas o resultado da sua simulação permite começar agora a ver esse tipo de modelos sob outra luz, talvez surpreendente para quem faz do acentrismo uma ideologia. Deve com efeito notar-se que o estado de completa segregação é um efeito não intencional de qualquer um dos agentes: cada um apenas exige que pelo menos 37% dos seus vizinhos sejam da sua 'raça', e no entanto esse limiar de relativa integração vai necessariamente implicar o estado global, irrepresentável e localmente não intencional, de segregação completa! Do ponto de vista do modelo, temos regras simples que podem gerar dinâmicas individuais complexas, dinâmicas cujo estado final não é passível de ser antecipado a partir da inspecção das regras do algoritmo. Passando à "realidade"[4], é essa impossibilidade de antecipação e de compressão num modelo analítico que parece caracterizar as estruturas sociais acentradas.[5] São estruturas em que cada indivíduo apenas tem um campo de acção ou de influência local, podendo contudo contribuir não intencionalmente para um "comportamento" global que se desenrola a uma escala espacial ou temporal maior (mais lenta) que a escala das acções locais. Noutros termos, cada indivíduo produz uma realidade que a todos transcende, pelo que nenhum pode prever a integridade das consequências das suas acções. Utilizando a linguagem do filósofo Leibniz, dir-se-ia não ser possível deduzir a totalidade das consequências da acção de cada mónada, sendo-se levado à ideia que muitas estruturas sociais não são o produto de qualquer *design* explícito e podem não ser comprimíveis num modelo analítico que *a priori* as antecipe. Portanto, contrariamente às citações da parte inicial deste artigo, é impossível passar dedutivamente do local ao global no caso das estruturas acentradas e, *a fortiori*, pode ser impossível deduzir as ideias globais de "progresso", "liberdade", etc., com base em comportamentos locais.

[4] Não se entra aqui numa discussão acerca da plausibilidade empírica do modelo de Schelling. Faz-se apenas notar que o modelo é estável para qualquer condição inicial e para um largo espectro de valores do parâmetro, o que indicaria que o modelo de Schelling real (determinação empírica dos valores do parâmetro) poderá ser um submodelo do modelo geral. Isso não prova obviamente que o modelo de Schelling dê completamente conta dos processos de segregação; prova-se contudo que o modelo é uma condição *suficiente* desses processos.

[5] "Parece", pois não é seguro que a Razão não venha a desenvolver modelos analíticos que permitam a dedução explícita. É evidente que esse ideal de compressão da realidade num modelo que a simplifique jamais deve ser abandonado.

Contrariamente à mónada leibniziana – susceptível ser "transparente" a uma mente dotada de racionalidade infinita –, a modelização baseada em agentes supõe que os indivíduos apenas possuem uma racionalidade limitada. Sob risco da repetição, deve sublinhar-se que o "comportamento global" não é em geral representável por qualquer dos indivíduos, apenas fazendo sentido para um observador exterior ao sistema. Os indivíduos não deduzem esse estado, que inclusivamente pode ser contrário às "suas premissas" (como sucede no modelo de Schelling). Desse ponto de vista, o estado global é, por assim dizer, virtual, e apenas as interacções locais são reais, apesar do estado virtual se poder vir a tornar-se autónomo e a adquirir realidade.

Os modelos baseados em agentes situam o nível causal ao nível das dinâmicas internas deterministas e procuram ver se a iteração local dessas dinâmicas faz emergir um estado global estável. Eles têm sempre implícitas duas escalas de correlação: as escalas rápidas e transientes das acções dos agentes dotados de visão local e as escalas lentas dos estados globais postulados ou feitos emergir. Ora, os novos modelos dos processos sociais caracterizam-se por introduzir dinâmicas internas complexas nos modelos centrados simples e lentos. Noutros termos, trata-se de relaxar os constrangimentos típicos das explicações centradas, permitindo que o sistema exiba um conjunto de factores complexos susceptíveis de gerar uma ordem. A natureza desse processo, e o seu verdadeiro significado para uma teoria do social, pode ser vista através de um outro exemplo, respeitante aos fundamentos da teoria dos fenómenos sociais mais desenvolvida, a teoria económica.

∴

A teoria neoclássica da economia baseia-se no chamado modelo do equilíbrio geral, criado por L. Walras em finais do século passado. Nesse modelo, os agentes económicos determinam as suas procuras e ofertas de modo a maximizar a sua utilidade (o lucro, em particular), e o estado de equilíbrio em torno do qual a totalidade dos preços é suposta gravitar é objecto da chamada lei de Walras:

$$(3)\ \sum_{i=1}^{n} p_i z_i = 0$$

onde z é a função do excesso da procura sobre a oferta e p o preço dos bens i ($i = 1, 2, \ldots, n$). Noutros termos, a economia funcionará num regime de equilíbrio em que a totalidade do excesso da procura (considerada em todos os bens e em todos os mercados) será igual a zero.

Naturalmente que de seguida se coloca a questão de saber de que modo os agentes económicos obtêm a informação acerca do preço de um certo produto que contribui para o equilíbrio geral. Mais, coloca-se a questão de saber como é que o próprio estado de equilíbrio é atingido. Esse estado não é atingido por qualquer negociação ou troca directa entre os agentes. De facto, como o equilíbrio em cada mercado depende do que sucede em todos os outros, a formação de um certo preço implica a solução simultânea da totalidade das equações que correspondem à procura e à oferta de cada bem em cada um dos mercados. Como é claro, nenhum agente conhece um tal sistema (enorme) de equações, e na verdade o preço de um certo produto aparece a um agente como dado. Os preços formam-se antes que qualquer troca tenha tido efectivamente lugar. Mas, de novo, como é que eles se formam? A resposta, clássica, de Walras consistiu em propor a ficção de um leiloeiro (*commissaire-priseur*), uma espécie de ser omnisciente que, tendo uma visão de todos os bens em todos os mercados, procede do seguinte modo: ajusta sistematicamente os preços fazendo aumentar aqueles onde existe um excesso da procura (o que de seguida os faz diminuir) e fazendo diminuir aqueles onde existe um excesso da oferta (o que de seguida os faz aumentar). E prova-se que essa acção do leiloeiro pode ser formalizada pelo seguinte sistema de equações diferenciais:

$$(4)\ Dp_i/dt = z_i\,(p_1, p_2, \ldots, p_n)$$

Este processo supõe que todos os agentes comunicam ao leiloeiro os preços das suas transacções, o que envolve a teoria nalgumas dificuldades. Mas mais importante do que isso é sublinhar que o sistema (4) é suposto convergir para o ponto de equilíbrio de (3). Mais, Walras teria suposto que um sistema do tipo de (4) garantiria que o ponto de equilíbrio de (3) existiria e seria único. Na realidade (cf. Kehoe, 1987), prova-se matematicamente que o modelo não possui essas propriedades. Mas mais que sublinhar essas restrições matemáticas, é para nós essencial chamar a atenção para o papel que o leiloeiro desempenha no modelo. A sua função é dupla. Por um lado, o leiloeiro é um algoritmo, o algoritmo que determinará a existência de um equilíbrio único para o mercado. Em segundo lugar, tendo efectuado o seu cálculo, o leiloeiro afixa publicamente os preços, os quais se tornam então os sinais objectivos através dos quais os agentes comunicam entre si. Com efeito, é um postulado essencial da teoria que os agentes não comuniquem directamente entre si; eles apenas comunicam através do mediador universal e impessoal que é o leiloeiro. Na teoria neoclássica, os agentes são opacos uns para os outros. Esse facto parece possuir grande significado, pois é como se a opacidade fosse a garantia que os agentes não se contagiam e não entram num regime rápido de funcionamento que poderia destruir as propriedades de ordem e de eficiência do mercado (no sentido de alocação de recursos de acordo com o teorema de Pareto).

O que acabou de ser afirmado pode surgir como uma extrapolação excessiva feita a partir do modelo de Walras. Na realidade, o assunto é quase susceptível de ser provado, e de assim revelar finalmente o verdadeiro significado social da distinção lento/rápido.

A teoria neoclássica da economia sempre foi sentida como insatisfatória, não apenas devido às restrições matemáticas acima aludidas, mas igualmente porque sempre se procurou ultrapassar a ficção de um leiloeiro centralizador de toda a informação e que jamais é deduzido a partir de algo outro (ao que acresce que ninguém sugeriu que nos mercados livres exista realmente um leiloeiro....). Assim sendo, começaram recentemente a ser propostos modelos da economia realmente acentrados, que dispensam qualquer mecanismo centralizador da informação, e

em que se respeita o princípio de acção local – os agentes interagem directamente com alguns dos seus "vizinhos". Nesses modelos, os agentes deixam de se encontrar isolados e passa a existir a possibilidade de eles se contagiarem. Ora, tudo isso vai implicar a reintrodução da complexidade e a necessidade de abandonar os constrangimentos da teoria neoclássica. As conclusões não podem deixar de ser significativas.

Existem diversos modelos de economias funcionando de acordo com o princípio de localidade (para uma recensão *cf.* Kirman, 1997). Começamos por referir aqui os traços gerais do modelo de G. Weisbuch e *al* (Weisbuch, Kirman e al, 1997) Trata-se do modelo de um mercado de bens perecíveis (a lota de Marselha), no qual as transacções não são públicas, não existe nenhum mecanismo central de equilíbrio (os preços variam durante o dia e durante todos os dias) e não existe afixação pública dos preços. Esse tipo de mercados são mercados a "tempo rápido" nos quais existem muitas transações diárias e onde as estratégias de vendedores e compradores têm de ser constantemente afinadas – por exemplo, os vendedores têm de vender tudo até ao fim da sessão (bens perecíveis) e os compradores podem procurar o melhor preço mas têm de ter em atenção o facto de poderem já não encontrar bens disponíveis, etc. Noutros termos, os agentes terão de fazer uso de uma regra adaptativa; uma regra puramente local de acção que eventualmente gere um estado estável. No caso do modelo de Weisbuch e *al*, a regra seguida por cada agente consiste na probabilidade de, num certo momento, um comprador decidir visitar um certo vendedor com base no lucro (o comprador é também um retalhista) que esse comprador obteve no passado ao comprar nesse vendedor. A probabilidade de um certo comprador visitar um certo vendedor depende ainda de um parâmetro de reforço que quantifica até que ponto o comprador é sensível a lucros passados (note-se que, neste tipo de mercados, um indivíduo pode sempre 'arriscar' mais, por exemplo, esperando que exista algum vendedor que no fim da sessão seja obrigado a vender "ao desbarato"). A regra é uma regra adaptativa local gerada pelas sucessivas interacções entre compradores e vendedores. Resultados analíticos e simulações do modelo permitiram obter dois comportamentos típicos por parte dos compradores (detalhes matemáticos em Weisbuch, 1997). Existe um valor crítico do parâmetro de reforço que separa os compradores em duas classes. Aqueles para quem o valor do parâmetro de reforço é inferior ao valor crítico (compradores menos sensíveis aos lucros passados e sempre à espreita de um "melhor lance") estão constantemente a visitar aleatoriamente todos os vendedores (são "rápidos") Já aqueles cujo valor do parâmetro é superior ao valor crítico mantêm-se leais a certos vendedores (são "lentos"). Reencontra-se aqui a situação mais geral da teoria dos sistemas dinâmicos: existem duas fases – fase desordenada e fase ordenada – separadas por um valor crítico. É uma situação universal ou genérica, donde ser de esperar que os mercados reais funcionando com base em interacções directas apresentem esses dois tipos de comportamentos. Note-se ainda que o resultado final é diferente do resultado previsto pela teoria neoclássica: uma distribuição uniforme dos compradores pelos vendedores com a existência de um preço médio correspondendo a um único ponto de equilíbrio.

O modelo apresentado sugere que os regimes a tempo rápido em economia (e não se nega que eles existem, bem pelo contrário) estão longe de verificarem as propriedades de eficiência visadas pelo modelos clássicos, os quais são modelos centrados, externamente controlados (é essa a função da ficção do leiloeiro). Desse ponto de vista, os regimes acentrados não implicam qualquer "bem", pelo contrário....

Isso mesmo ainda é mais claro se considerarmos as principais teorias acerca dos mercados financeiros. No que respeita a esse tipo de mercados, a teoria gémea da teoria neoclássica é a teoria das expectativas racionais, segundo a qual os agentes possuem uma visão global a partir da qual é suposto poderem deduzir analiticamente a totalidade das consequências das suas acções (*cf.* a apresentação clássica em Lucas, 1978 e uma boa discussão em Sargent, 1993). A teoria assume que os agentes usam homogeneamente a informação disponível (os mesmos indicadores económicos, volumes de títulos transaccionados, rumores, dividendos passados, etc.). Essa informação está "afixada" e é com base nela que os agentes formam as suas expectativas dedutivas sobre o comportamento futuro do mercado. Também aqui os agentes são indivíduos isolados que não comunicam directamente entre si; eles apenas comunicam indirectamente através do sinal constituído pela informação disponível para todos. Só que isso implica um forte constrangimento: cada agente tem de assumir que qualquer outro agente utiliza o mesmo modelo que ele próprio utiliza, isto é, cada um assume que os outros utilizam as mesmas expectativas que ele utiliza – chama-se a esse constrangimento a teoria das expectativas mutuamente consistentes. Pode dessa forma falar-se em racionalidade completa ou perfeita, no sentido em que o outro me é totalmente transparente, transparente exactamente por eu não comunicar directamente com ele. Com base nessas premissas, sustenta-se que o mercado é ele próprio transparente e demonstra-se que existe um equilíbrio das expectativas racionais que permite deduzir os preços "correctos", de equilíbrio único, do mercado. Note-se que a racionalidade completa substitui agora a figura do leiloeiro de Walras.

Contudo, as premissas da teoria da racionalidade perfeita estão longe de se aplicarem de modo plausível ao comportamento real dos mercados. Não são necessários grandes conhecimento académicos para se observar que o comportamento dos mercados financeiros depende em larga medida de factores cognitivos intervenientes na interacção directa dos agentes. Esses factores geram uma comunicação directa e um possível contágio. Isso é visível, mesmo se apenas se modificar a hipótese de homogeneidade da teoria das expectativas racionais. Foi o que Arthur e *al* fizeram (*cf.* Arthur, 1995 e Arthur e al 1997), isto é, assume-se que os agentes utilizam heterogeneamente a informação disponível – não partilham as mesmas expectativas –, e que eles incluem nessa informação uma avaliação das intenções dos outros. Os indivíduos deixam de ser totalmente transparentes e adquirem um tipo de opacidade (qual é exactamente a intenção do outro em condições de informação parcial?) que impossibilita um cálculo racional completo. A opacidade gera um jogo de espelhos que consiste em cada indivíduo formar as suas expectativas com base nas expectativas que ele tem acerca do comportamento do outro, e ainda com base nas expectativas que ele tem acerca das expectativas que o outro tem acerca das suas próprias expectativas, e assim sucessivamente... Esta situação gera uma efectiva indeterminação se se assumirem a totalidade das premissas clássicas da racionalidade perfeita (Arthur e *al* 1997). Já sob a hipótese de heterogeneidade pode existir uma ordem emergente. De facto, o jogo de expectativas pode conduzir a expectativas que se autorealizam. De forma simples, suponhamos que um agente A imagina que B imagina que ele, A, vai vender. A procura então antecipar-se a B e, em função dessa representação, imaginária ou real, vende de facto. Mas então B também vai vender, o que, para A, é o facto confirmando a sua representação inicial. Obviamente que se exige um número suficientemente denso de agentes imaginando o comportamento dos outros para que certas "ondas" (como se diz nos mercados) de compra ou de venda surjam. Esse comportamento global que emerge a partir de interacções pode, por sua vez, retroagir sobre os comportamentos pressionando (ou não) cada vez mais o mercado num certo sentido; trata-se da emergência intrínseca (Crutchfield, 1994). A situação já tinha sido perfeitamente apercebida por Keynes (Keynes, 1936), que a ilustra com o exemplo de um agente racional que sabendo que um título está muito subavaliado, nem por isso o compra, pois, com base na sua expectativa acerca do comportamento dos outros, estima que em breve ele ainda valerá menos do que naquele momento vale: "não se pode ter razão contra a turba!".

O modelo de Arthur é mais um exemplo de como os processos acentrados estão longe de produzir qualquer coisa de 'bom'. Mas ele exemplifica também como a formalização do conceito de expectativas auto-realizadoras ilustra um ponto em que temos insistido. Simulações computacionais do modelo de Arthur mostraram a emergências de dois regimes. No caso em que os agentes-investidores adaptam lentamente as suas previsões a novos dados, e exploram também lentamente novas possibilidades de negócio, a situação resultante é a prevista pela teoria do equilíbrio geral: prova-se mesmo que as expectativas racionais homogéneas são um atractor do processo evolutivo de acções heterogéneas: a racionalidade perfeita emergiria a partir de uma dinâmica subjacente.

Já no caso em que os agentes (que, diferentemente dos agentes clássicos, podemos supor que são fortemente motivados por factores como o lucro momentâneo) constantemente exploram novas oportunidades de negócio – com base na permanente exploração de previsões alternativas – verifica-se a emergência de um regime complexo caracterizado por um grande volume de transacções, fortes oscilações, quebras bruscas nos índices e sem que uma convergência para um estado atractor esteja assegurada. Se se abandonam os constrangimentos de uma racionalidade perfeita, surge um regime complexo *rápido*. Mas se se assumir a racionalidade perfeita verifica-se um regime macroscópico *lento*[6]. É agora claro

ser rigoroso afirmar que o estado mais "macroscópico", o estado de equilíbrio descrito pela teoria neoclássica, é um regime funcionando a tempo lento por relação às eventuais causas microscópicas que o geram e ainda que, como se referiu, o regime das expectativas racionais é um atractor para agentes heterogéneos funcionando em tempo lento. A teoria neoclássica das expectativas é uma teoria das previsões e dos lucros a longo prazo, e essa parece ser a característica essencial das estratégias impedindo que a complexidade intervenha de modo eventualmente destrutivo. Desse ponto de vista, o significado profundo de uma figura como o leiloeiro de Walras torna-se mais evidente: o mercado apenas é verdadeiramente eficaz quando as dinâmicas rápidas são "amortecidas", o que apenas é possível apelando a uma situação social de base que consiste em eliminar a comunicação entre os indivíduos, tornando-os opacos, isto é, eliminando o puro princípio de acção local e acentrada. Não é incorrecto afirmar que apenas através dessa opacidade se garante a máxima liberdade de cada um (Dupuy, 1992).

Essa conclusão em nada é específica à economia. Algumas das teorias contratualistas da democracia são elas próprias gémeas da teoria neoclássica. A democracia consistiria na introdução de mecanismos de opacidade interindividual. É talvez esse o ponto fundamental da "teoria da justiça" de J. Rawls (Rawls, 1972). Nessa teoria, a ficção do leiloeiro de Walras é substituída pela ficção de um véu de ignorância em que os societários se encontram inicialmente uns em relações aos outros. E porquê? Porque essa opacidade parece ser condição indispensável para que os societários aceitem como base de uma "sociedade justa" os célebres dois princípios que Rawls considerou plenamente racionais. Mas, repita-se, a opacidade é indispensável para que essa racionalidade possa agir sobre as vontades. É necessário esclarecer definitivamente este último ponto.

Voltemos à economia. Como vimos, as teorias neoclássicas da economia visavam colocar os fundamentos de uma certa igualdade, o que parece implicar assumir a incomunicabilidade entre os indivíduos. Só que, sabemo-lo bem, essa situação não é real. Desde logo, o que leva os indivíduos a explorar oportunisticamente a bolsa de valores? A teoria das expectativas racionais permanece muda acerca desse assunto e, de facto, segundo essa teoria, os indivíduos apenas recebem certos sinais "objectivos" e não qualquer incentivo para realizarem transacções. O que os incentiva então ao "negócio"? Terão de ser certas motivações e o lucro oportunista parece ser a mais plausível[7]. Mas o que leva os indivíduos a procurarem ter (mais) lucro? A satisfação das necessidades básicas por parte de pessoas que já as têm várias vezes satisfeitas? Não pode ser. Trata-se, pura e simplesmente, de obter lucro. Mas, conforme Dupuy (Dupuy, 1992) demonstrou a partir de um admirável texto de Adam Smith, esse desejo de lucro motiva-se no desejo de provocar a admiração e simpatia (o "estatuto") por parte dos outros. É através desses sentimentos que os indivíduos comunicam, e um indivíduo é ponto de mira da atenção fascinada por parte dos outros, na medida em que estes vêm nessa admiração o mecanismo local de cada um: admirar-se a si mesmo na medida em que se é admirado pelos outros. Portanto, os indivíduos comunicam dessa forma entre si. Mas essa comunicação através da simpatia tem como seu reverso indissociável a inveja: existe simpatia/inveja pelos mais fortes e desprezo irreprimível pelos mais fracos (os que não são objecto de admiração). É aqui que reencontramos Rawls, pois este viu de forma perspicaz que a inveja seria precisamente a paixão capaz de impedir que as vontades se dobrem à racionalidade dos dois princípios geradores de uma "sociedade justa". Donde a necessidade de um véu...

Na perspectiva acabada de enunciar, a "abertura das vias de comunicação" que caracteriza e, segundo o acentrismo social, deverá caracterizar a "sociedade de informação" revela-se sob uma nova luz. Contrariamente às aparências, a ênfase valorativa nos comportamentos sociais de base origina um certo tipo de dinâmicas rápidas que em nada participa das ideias que historicamente associamos à "democracia". Por exemplo, a emergência de figuras carismáticas e tendencialmente totalitárias pertence à classe dos mecanismos acentrados. Resumidamente, um chefe carismático pode representar o ponto de focalização do amor que cada um tem por si mesmo: cada indivíduo representa o Chefe como amando-se a si próprio, mas como amando-se a si próprio na medida em que o Chefe é amado por todos os outros. Cada indivíduo representa no Chefe aquilo que é o amor-próprio: amar-se a si mesmo na medida em que se é amado pelos Outros, e assim todos se vêm como Um na figura do Chefe (Dupuy, 1992). Esse "amar-se a si mesmo na medida em que se é amado pelos outros" é um *invariante* que surge a partir das dinâmicas locais e se torna um ponto fixo através da figura do Chefe. Mesmo que não se trate de um mecanismo imediatamente formalizável, é sem dúvida um processo local e acentrado que no entanto pode gerar os maiores processos totalitários e de intolerância. Ele pode gerar a autonomização da figura do Chefe (uma espécie de ponto fixo de uma dinâmica local), que se torna efectivamente o ditador detentor de um cálculo "a tempo lento" que escapa às dinâmicas locais "rápidas" dos agentes locais em estado de "excitação colectiva". Singular inversão de perspectivas: os mecanismos acentrados acabariam por gerar os processos mais puramente centrados. E se essa possibilidade é uma possibilidade real, devemos ser particularmente cuidadosos com os discursos que assumem, à partida, a ideologia do acentrismo. Desconhecendo os efeitos que os regimes rápidos podem causar, eliminando as opacidades, eliminando as mediações necessárias, eliminam-se os mecanismos lentos típicos das democracias em proveito da "sociedade da informação" e da "sociedade da comunicação".

[6] Mais especificamente, no "mercado artificial" desenvolvido por Arthur e *al.*, os agentes (computacionais) descobrem novas regras de comportamento por iteração do algoritmo genético. A frequência com que o algoritmo é invocado é o parâmetro crucial do modelo: quando o algoritmo é invocado segundo períodos dilatados, temos uma situação próxima dos modelos clássicos, pelo contrário, quando se exploram constantemente novas regras temos um regime complexo.

[7] Em termos de mercados financeiros, o lucro oportunista pode ser conseguido sob a forma daquilo que se designa por "transacções técnicas", que consistem em antecipar comportamentos futuros dos títulos com base em certos padrões que se verificaram no passado, obtendo "lucros especulativos". A teoria clássica das expectativas racionais implica precisamente que os títulos possuem um certo valor "fundamental" de equilíbrio e que as "transacções técnicas" não são a prazo consistentes.

Referências bibliográficas

Arthur, B., e al.: *The Economy as an Evolving Complex System*, Wesley, 1997

Arthur, B.: "Complexity in Economics and Financial Markets", Complexity I, 1995, pp. 20-25.

Cilliers, P.: *Complexity & Postmodernism*, Routledge, 1998

Crutchfield, J.: "Is Anything Ever New? Considering Emergence", in *Complexity: Metaphors, Models, and Reality*, G. Cowan, D. Pines, and D. Melzner, (eds.), Wesley, 1994, pp. 479-497.

Dupuy, J-P.: *Introduction aux Sciences Sociales*, Ellipses, 1992.

Epstein, J. e R. Axtell: *Growing Aerificial Societies*, MIT Pres, 1996.

Fischer, M.: *Scaling, Universality and Renormalization Group Theory*, Springer-Verlag, 1983

Kehoe, T.: "Computation and Multiplicity of Economic Equilibria", in *The Economy as an Evolving Complex System*, P. Anderson e al. (eds.), Wesley, 1987, pp. 147-167

Kelly, K.: *Out of Control*, Wesley, 1995.

Kelso, S.: *Dynamic Patterns*, Mit Press, 1995

Keynes, J.: *General Theory of Employment, Interest and Money*, Macmillan, 1936.

Kirman, A.: "The Economy as an Interactive System", in Arthur, 1997, pp. 491-531

Lucas, R.: "Asset Price in an Exchange Economy", Econometrica, 46, 1978, pp. 1429-1445.

Machado Rosa: *Ciência, Tecnologia e Ideologia Social*, E. U. Lusófonas, 1996.

Machado Rosa: *Internet – Uma História*, E. U. Lusófonas, 1998.

Machado Rosa: *Teoria das Estruturas dos Sistemas Centrados aos Sistemas Acentrados*, a publicar, 1998

Nadal, J-P.: *Réseaux de Neurones*, A. Colin, 1993.

Negroponte, N.: in *Wired*, Outubro de 1997.

Nicolis, G.: *An Introduction to Nonlinear Science*, Cambridge University Press, 1995.

Rawls, J.: *A Theory of Justice*, Oxford University Press, 1972.

Sargent, T.: *Bounded Rationality in Macroeconics*, Oxford University Press, 1993.

Schelling, T.: "Dynamic Models of Segregation" Journal of Mathematical Sociology, 1, 1971, pp. 143-186.

Tapscott: *The Digital Economy*, McGraw-Hill, 1996.

Thom, R.: *Stabilité Structurelle et Morphogenèse*, Benjamin, 1974.

Thompson, A.: "Evolving electronic robot controllers that exploit hardware resources", in F. Moran (ed.), *Advances in Artificial Life*, Springer-Verlag, 1995.

Thompson: "Artificial Evolution in the Physical World", in *Evolutionary Robotics*, T. Gomi (ed.), AAI Books, 1997, pp. 101-125

Weisbuch, G.: e *al.* "Market Organization", Mimeo, Ecole Normale Superieure, Paris, 1997

Wolfram, S.: *Cellular Automata and Complexity – Colected Papers*, Wesley, 1994