

Apresentação

Significado, Causalidade e Computação em Sistemas Biológicos

O terceiro número dos Cadernos de História da Ciência do Instituto Butantan, assim como os volumes anteriores, faz de sua pauta o aprofundamento de uma discussão iniciada em evento científico realizado no IB. Aqui, a reflexão acerca dos processos relacionados à geração e transmissão de informação em sistemas vivos que foi iniciada na jornada temática « Significado, Causalidade e Computação em Sistemas Biológicos » ganha novo fôlego, articulada sob três perspectivas bastante diversas e elucidativas.

O filósofo da ciência Osvaldo Pessoa Jr. nos apresenta em seu artigo « O que é uma causa? » um inventário das principais teorias e interpretações sobre causalidade em geral. De forma didática, mas não simplista, utiliza o caso da extinção do Dodô (uma ave não voadora nativa das ilhas Maurício) no século XVIII para nos introduzir ao formalismo básico referente ao estudo de causas e efeitos. Assim aprendemos o significado do acrônimo « INUS » do inglês « insufficient, necessary, unnecessary, sufficient », que agrupa causas em conjuntos suficientes para produzir um efeito, nos revelando que, via de regra, há mais de um conjunto de condições capazes de produzi-lo. O que vai de encontro com nosso conceito quase intuitivo, reforçado nas aulas de geometria, de que « uma causa é uma condição necessária e suficiente ». Osvaldo discute ainda « causas remotas », « causas múltiplas », cadeias e ciclos de causalidade, ca-

so que mesmo para o leitor leigo remetem ao funcionamento dos sistemas biológicos. Em seguida, nos apresenta um resumo das diferentes concepções filosóficas de causalidade, descreve sucintamente critérios e modelos causais e finaliza com um exemplo de modelo causal aplicado à história da ciência.

Em seguida, temos aprofundada a questão do significado biológico. Tem tido aceitação crescente entre cientistas de diversas áreas a noção de que animais, plantas e mesmo células isoladas são estruturas semióticas, capazes de converter signos objetivos em sinais convencionais. A ciência emergente preocupada com estes fenômenos é a biosemiótica. O lingüista João Queiroz e o informata Angelo Loula são pesquisadores ativos com produção bastante relevante nessa área, e nos apresentam no artigo intitulado « Síntese de criaturas simbólicas : um experimento em vida artificial », um exemplo concreto de modelagem que simula a emergência de comunicação simbólica em criaturas virtuais submetidas a eventos de predação. A linha adotada por eles remonta à semiótica de C. S. Peirce e a requisitos etiológicos de forma a valer-se de uma metodologia genuinamente sintética na abordagem do problema mais amplo da geração e transmissão de informação.

Por fim, o pesquisador Leandro Nunes de Castro e dois alunos de seu Laboratório de Sistemas Inteligentes na UniSantos, Yupanqui Julio Muñoz e Danilo Mattos Bonfim aprofundam a discussão referente à computação natural. No artigo « Síntese Computacional de Fênomenos Naturais : Vida Artificial e Geometria Fractal » discutem criteriosamente como a natureza pode servir de inspiração para síntese computacional de formas e de comportamentos, as propriedades dos sistemas naturais paradigmáticas em cada um dos casos, i.e. estrutura e função, justificam a subdivisão do artigo em duas partes. Na primeira, a perspectiva da computação natural é adotada para auxiliar no levantamento de propriedades distintivas da vida em termos comportamentais, duas delas são mapeados como essenciais, conceituadas e ilustradas : auto-organização e emergência. Na segunda, apresenta-se uma ferramenta – a geometria fractal

– para a síntese computacional de formas encontradas na natureza como plantas e montanhas, tal ferramenta é também conceituada e ilustrada de uma maneira extremamente clara, mas sem comprometer o rigor formal exigido por esse tipo de empreitada.

A organização dos sistemas vivos lhes permite atribuir significado às condições do ambiente, de forma contextual e de maneira a adaptar seus comportamentos em função dessas informações. Tal organização começa a ser alvo mais sistemático dos estudos de biólogos, matemáticos, filósofos, lingüistas, informatas, etc. Em qualquer dos casos, a investigação passa : pela identificação de elementos, módulos e circuitos regulatórios ou redes de causalidade ; pela identificação de propriedades que emergem conforme os sistemas se tornam mais complexos ou a dissecção de sua estrutura semiótica ; pela expressão desses módulos e propriedades em linguagem formal ou a formulação de algoritmos computacionais de inspiração natural. No presente volume dos Cadernos não pretendemos esgotar essas vertentes, o que seria inconseqüente, mas sim abrir espaço para um tipo de reflexão – transdisciplinar, de caráter simultaneamente básico e aplicado – que pode parecer excessivamente pontual e vanguardista, mas se faz notar, cada vez mais entre as agendas de pesquisa dos mais conceituados institutos pelo mundo afora.

Este número ainda dá continuidade às séries: Depoimentos, com Professor Oswaldo Frota-Pessoa, entrevista realizada por Osvaldo Augusto Sant’Anna; Iconografia, com o artigo “O campo vai à cidade: o caso do Grupo Escolar Rural do Butantan”, de André Mota; e damos início à série Documentos, com o compêndio “Obras Raras da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo”, de Maria Cristina da Costa Marques, Paula Yuri Sugishita Kanikadan, Dalma de Silveira e Lenita Cunha e Silva.

Comissão Editorial



INSTITUTO
BUTANTAN

Síntese de criaturas simbólicas: um experimento em vida artificial

João Queiroz^{1,2}

Angelo Loula¹

Introdução

É enorme o número de trabalhos recentemente publicados sobre emergência de *semiose*, em sistemas biológicos e computacionais (Vogt 2006, 2003; Roy 2005a,b; Wang & Minett 2005; Freeman 2004; Bickhard 2004; Nöth 2004; Christiansen & Kirby 2003; Cangelosi & Turner 2002; MacLennan 2001, 2002; Ziemke & Sharkey 2001; Jung and Zelinsky 2000; Batali 1998; Cariani 1998; Hoffmeyer 1996; Emmeche & Hoffmeyer 1991; Hutchins & Hazlehurst 1995). Jablonka (2002: 603; também Jablonka & Lamb 2005, Szathmáry & Maynard Smith, 1995; Maynard Smith & Szathmáry, 1999) resume assim a importância do tema: ‘eu compartilho com Maynard Smith e Szathmary a convicção de que a evolução de modos de estocagem e transmissão de informação são um tema maior na evolução da vida. Como vejo, um dos mais importantes aspectos da evolução tem sido a seleção de sistemas que podem interpretar tipos adicionais de informação, e a conseqüente emergência de novos sistemas de herança’. Temos, em diversos trabalhos, enfatizado a importância de imprimir um significado pre-

¹ Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA)

² Área de Informática do Departamento de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

ciso a duas importantes noções: emergência e sistemas semióticos (Queiroz & Merrell, prelo; Loula, Gudwin & Queiroz 2004; El-Hani, Queiroz & Emmeche 2006; Queiroz & El-Hani 2006a,b). Não vamos nos deter aqui neste problema.

Vamos apresentar um modelo computacional concebido para simular a emergência de ‘comunicação baseada em símbolos’ em um ambiente virtual de predação. Chamamos o experimento de *The Symbolic Creatures Simulation*. É bem conhecido que Vida Artificial (Langton 1995), Robótica Evolutiva (Nolfi & Floreano 2002), Animats (Dean 1998) e Etologia Sintética (MacLennan 2002) são as principais áreas envolvidas na modelagem e simulação de sistemas e criaturas capazes de produzir alguma forma de atividade ou comportamento semiótico. Estas áreas divergem em suas pretensões, e estão baseadas em diferentes ferramentas computacionais, mas são fortemente influenciadas por metaprincípios (*formal-theoretical constraints*) e por motivações biológicas (*empirical constraints*), no projeto dos ambientes e definição morfológica de sensores, atuadores, arquitetura e processos cognitivos dos sistemas e criaturas concebidos. Isto significa, na prática, que estes dois conjuntos de restrições e motivações informam ao cientista: o que se pretende simular? o que precisa ser considerado? como saber (critérios de avaliação) se o resultado é uma boa simulação?

Para definir os metaprincípios e as motivações biológicas, apresentaremos brevemente algumas noções fundamentais da semiótica de C.S.Peirce e a redescrição de um conhecido caso de comunicação animal. Este caso funciona como o *corpus* de motivações biológicas (*empirical constraints*) para o design das criaturas e do ecossistema digitais. As questões que mais nos interessam aqui são: como competências semióticas de ‘alto nível’ (e.g. simbólicas) emergem de competências de ‘baixo nível’ (e.g. indexicais) em processos de cooperação inter-agentes? Se há uma transição de uma fase pré-simbólica (e.g. indexical) para uma fase simbólica, quais os mecanismos envolvidos nessa transição? Estas questões dependem, obviamente, da definição de símbolo. Baseamos nossos argumentos em uma tradição derivada

das investigações de Peirce, e encontrada em filósofos e cientistas interessados em fenômenos de significado, linguagem e comunicação, em diversas áreas – e.g. Vogt (2006, 2002); Pietarinen (2005); Deacon (1997); Habermas (1995); Emmeche (1991); Fisch (1986).

1. *Semiose e símbolos*

Qual ‘a natureza essencial e variedade fundamental de todas as possíveis semioses?’ (CP 5.488) Para responder essa pergunta, Peirce construiu uma teoria lógica-fenomenológica de categorias. Trata-se de um sistema exaustivo de relações, hierarquicamente organizado em classes de relações (3-ádicas, 2-ádicas e 1-ádicas) (CP 5.488; Burch, 1991; Brunning, 1997). Esse sistema é a fundação formal de seu modelo de semiose e de suas classificações sígnicas.

Para Peirce, a semiose consiste em uma relação entre três termos irreduzivelmente conectados (Signo-Objeto-Interpretante), que são seus elementos constitutivos (EP 2:171). Trata-se de um processo auto-corretivo cuja dinâmica exhibe uma irreduzível relação (3-ádica) entre Signo, Objeto, e Interpretante, que é o efeito em um Intérprete. Peirce (ver De Tienne 2003) também define um Signo como um meio para a comunicação de uma forma, ou para transferência de um hábito incorporado no Objeto para um intérprete, de tal modo a restringir seu comportamento:

[...] um Signo pode ser definido como um Meio para a comunicação de uma Forma. Como um meio, o Signo está essencialmente em uma relação triádica, para o seu Objeto que o determina, e para o seu Interpretante que ele determina. [...] Aquilo que é comunicado do Objeto através do Signo para o Interpretante é uma Forma; o que significa dizer, não é nada como um existente, mas é um poder, é o fato de que alguma coisa aconteceria sob certas condições (EP 2.544, n.22).

Há três possíveis modalidades de semiose: icônicas, indexicais e simbólicas. Elas correspondem, aproximadamente, a relações de *similaridade*, de *contigüidade física*, e de *lei* entre um signo (S) e seu

objeto (O). As propriedades associadas a essas modalidades são, respectivamente: (i) relação S-O dependente das propriedades de S, (ii) S-O em reação espaço-temporal (contigüidade física S-O), (iii) S-O dependente da mediação de I.

Ícones são signos que estão para seus objetos através de similaridade ou semelhança (CP 2.276), sem consideração por qualquer conexão espaço-temporal que possam ter com qualquer O existentes (CP 2.299). Se uma relação signo-objeto (S-O) é uma relação de analogia, isto é, se S é um signo de O em virtude de uma certa qualidade que S e O compartilham, então S é ícone de O. Se S é um ícone de O, comunica, para I, uma qualidade de O. Em outras palavras, um signo icônico comunica um hábito incorporado no objeto para o interpretante, de tal modo a restringir o comportamento do intérprete, como o resultado de uma certa qualidade que o signo e o objeto compartilham. O que é comunicado do objeto para o intérprete, através do signo, é uma ‘similaridade geral’. Entre os casos mais mencionados de ícones, encontram-se exemplos de ‘imagens’, ‘diagramas’, ‘metáforas’ (CP 2.278), ‘mapas’ e ‘hieróglifos’.

Em contraste, se S é um signo de O em razão de uma relação diádica com O, então ele é índice de O. Nesse caso, S e O estão relacionados através de uma ‘conexão física direta’ (CP 1.372). S é realmente determinado por O de tal modo que ambos devem co-existir como eventos: ‘um índice é um signo que se refere ao objeto que denota em virtude de ser realmente afetado pelo objeto’ (CP 2.248). A noção de co-variação espaço-temporal é uma propriedade característica dos processos indexicais. Os exemplos incluem de um ‘pronome demonstrativo ou relativo’, que ‘força a atenção para um objeto particular, sem descrevê-lo’ (CP 1.369), a sintomas físicos de doenças, fotografias e termômetros (CP 2.265).

Finalmente, em um símbolo, a relação entre S e O é logicamente dependente do terceiro termo da relação, do interpretante: ‘o símbolo está conectado com o objeto em virtude da idéia de uma mente que usa o símbolo, sem a qual tal conexão não existiria’ (CP 2.299). Em um símbolo, as relações determinativas entre S e O são *legais*: ‘um símbolo é uma lei, ou regularidade do futuro indefinido’ (CP 2.293).

Temos sugerido (Ribeiro et al. prelo, Queiroz 2003, Queiroz & Ribeiro 2002;) que resultados descritos pelos etólogos Cheney e Seyfarth (Cheney & Seyfarth 1990), em seus experimentos de campo com macacos-vervets (*Chlorocebus aethiops*), satisfazem, consistentemente, os critérios Peirceanos de semiose simbólica.

2. Comunicação simbólica em primatas não-humanos

Os macacos-vervets possuem um sofisticado e bem documentado repertório de vocalizações usado em interações sociais intra-específicas (confrontação e formação de alianças de diversos tipos), bem como para indicar a presença de predação iminente (Seyfarth, Cheney & Marler 1980; Seyfarth & Cheney 1992). Estudos de campo revelam três tipos de alarmes usados para indicar a presença de (1) predadores mamíferos terrestres, (2) aves de rapina, e (3) cobras. O comportamento do grupo, subseqüentemente à produção do alarme, é um indicador de interpretação discriminada do alarme. Quando alarmes de leopardo são produzidos, vervets fogem para o topo das árvores mais próximas; alarmes de águia produzem fuga para debaixo de arbustos; para alarmes de cobra, a reação é um escrutínio atento da relva. Os adultos produzem as vocalizações em referência à presença de predadores específicos, gerando reações específicas em todo o grupo.

Usamos as respostas comportamentais como indicadores da formação de símbolos, uma estratégia corrente em etologia. Sugerimos que a passagem de um comportamento que produz ‘rastreamento sensorio’, em seqüência a audição de um alarme, para um comportamento que produz fuga imediata, em seqüência a audição do mesmo alarme, equivale à passagem de uma semiose indexical, reativa espaço-temporalmente, para uma semiose simbólica. O objeto do signo, neste segundo caso, é um *tipo* de objeto, e não precisa existir como um evento. Em outras palavras, a transição índice => símbolo deve estar na passagem do objeto (do signo), que é um evento, e co-incide espaço-temporalmente com a vocalização (signo), para um objeto que é uma classe de eventos, e não precisa estar presente como uma ocorrência. O ‘efeito colateral’ é uma criatura

que não *rastreia* o ambiente para fugir. A maturação ontogenética tardia deste processo sugere que ele depende de uma fase indexical de aprendizagem. Simulamos os mecanismos envolvidos nesta passagem. O simulador permite investigar alguns *pré-requisitos* que devem ser satisfeitos para emergência de semiose simbólica.

3. *The Symbolic Creatures Simulation: experimento em Etologia Sintética*

Simulamos um ecossistema que permite interação entre criaturas, incluindo comunicação intra-específica para a presença de predadores, uma atividade que provê vantagem seletiva aos seus usuários. O ambiente (Figura 1) funciona como um laboratório para simular a emergência de comunicação. Para construí-lo, e inferir as condições mínimas para o design das criaturas, examinamos o caso de comunicação animal descrito e propomos: (i) síntese de criaturas para investigar: (ii) aprendizagem de modalidades sígnicas em eventos de comunicação, (iii) relação entre as modalidades (índices - símbolos).

As criaturas são agentes autônomos, habitando um ambiente virtual 2D, e estão equipadas com sensores e habilidades motoras, permitindo interações com o mundo virtual, através de parâmetros



Figura 1: The Symbolic Creatures Simulation, usado para simular interação entre criaturas (para mais detalhes, ver Loula et al 2004, e www.dca.fee.unicamp.br/projects/artcog/symbcreatures).

de ação fixos e competências modificáveis. As criaturas (presas e predadores) são controladas por uma arquitetura baseada em *comportamentos* (Brooks 1991), onde diversos módulos paralelos podem ser ativados. Estes módulos descrevem comportamentos associados a *drives* e indicam suas motivações para ativação conforme o estado interno da criatura e o estado do ambiente.

Há três tipos de predadores: terrestres, rastejantes, aéreos. Eles produzem reações específicas de fuga entre as presas. Elas se dividem em instrutores, que vocalizam alarmes para os predadores, e aprendizes, que procuram estabelecer conexões entre alarmes e eventos co-ocorrentes, por meio de mecanismos de aprendizagem associativa.

A aprendizagem associativa permite estabelecer relações signo-predação, com resposta (motora) de fuga. Aprendidas satisfatoriamente, essas relações formam *regras de ação*. A aprendizagem generaliza relações espaço-temporais, entre eventos percebidos, a partir de co-ocorrências particulares entre alarmes e predadores, transformando índices em símbolos. A presa possui estruturas de memória para armazenamento e manipulação desses eventos: memórias de trabalho e memória associativa. Nas memórias de trabalho, auditiva e visual, estímulos sensoriais (icônicos) são armazenados temporariamente e disponibilizados para a memória associativa. (Figura 2) Quando duas informações (visual e auditiva) estão simultaneamente presentes nas memórias de trabalho, é



Figura 2: Aprendizado associativo, dos sensores para a memória associativa. Sensores recebem os estímulos sensoriais que são mantidos na memória de trabalho, e são usados pela memória associativa para criar diferentes relações entre os estímulos.

criada, ou reforçada, uma ligação entre elas na memória associativa (com valor limitado entre 0 e 1), seguindo o princípio Hebbiano de aprendizagem. Quando um item é retirado da memória de trabalho, as associações relacionadas que não foram reforçadas, são enfraquecidas. (Figura 3) Estes ciclos de ajuste positivo (reforço), e negativo (enfraquecimento), permitem que a criatura aprenda as associações corretas (signo-predador).

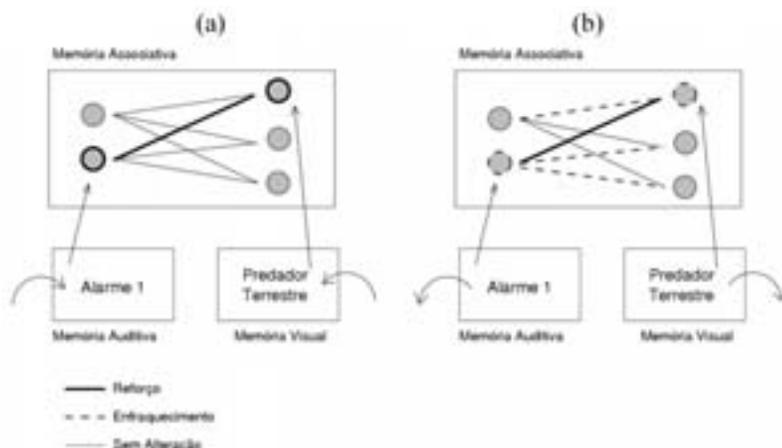
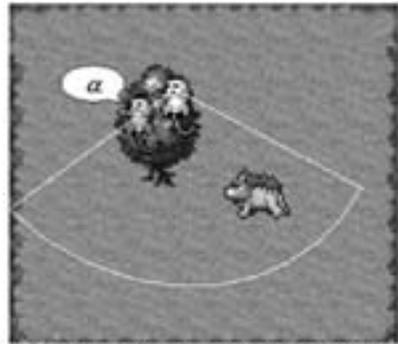
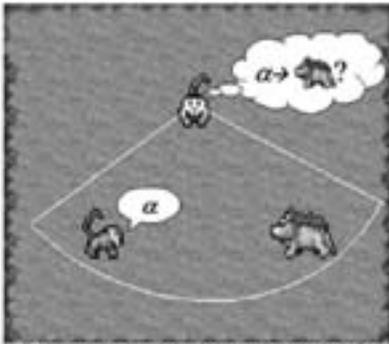


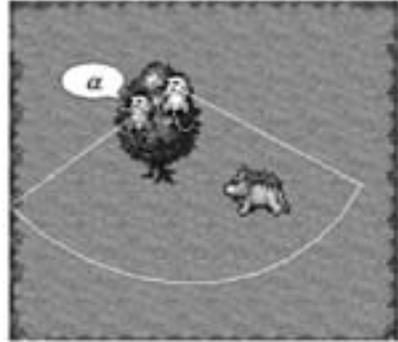
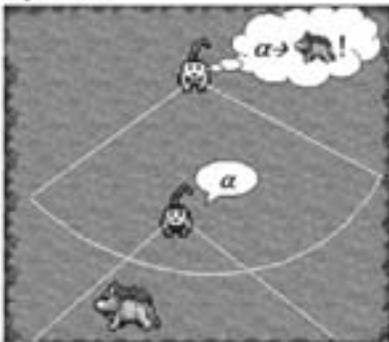
Figura 3: Reforço e Enfraquecimento. (a) A co-ocorrência de estímulos visual e auditivo nas memórias de trabalho, reforça a associação entre eles na memória associativa. (b) Ao saírem da memória de trabalho, todas as associações das quais estes estímulos fazem parte na memória associativa, e que não foram reforçadas, são enfraquecidas.

À audição de um alarme, a presa exibe inicialmente um comportamento de varredura sensorial por um emissor e eventos co-ocorrentes, que é uma resposta tipicamente indexical (Figura 4). Mas a ‘força’ de associação signo-predador aumenta a ponto de estabelecer um certo limiar (próximo do valor máximo)¹ e criar uma nova *regra de ação* -- ‘fuga sem varredura’. Nesta situação dizemos que a presa fez uso de uma associação pré-estabelecida para interpretar um alarme, sem disparar uma resposta de varredura mas

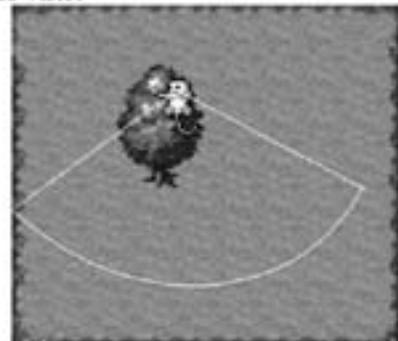
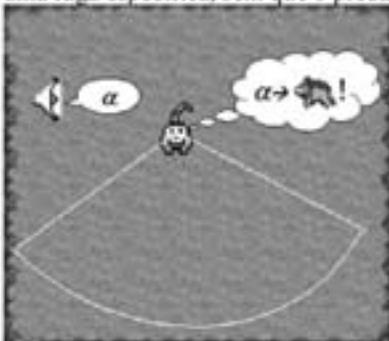
¹ Veja Loula *et al* (2004) para ver resultados numéricos do aprendizado e convergência para associações alarme-predador.



Durante a fase indexical, o aprendiz tem sua atenção dirigida para o predador ao ouvir uma vocalização. A percepção de co-ocorrência destes eventos reforça a associação entre alarme e predador. A visualização do predador, faz as presas fugirem de maneira específica.



Quando o aprendiz ouve uma vocalização mas não vê o predador, ele pode relacionar o alarme com o predador se a associação já tiver atingido valores altos. Isto também causa uma fuga específica, sem que o predador tenha sido visto.



Simulando um experimento de *playback*, um alarme pode ser reproduzido para o aprendiz que possuindo uma associação com o predador com valor alto, irá fugir especificamente, mesma na ausência do predador.

Figura 4: Efeitos dos alarmes em diferentes momentos nos aprendizes.

fugindo segundo o tipo de predador associado. Nesta situação podemos dizer que a relação entre alarme (S) e predador (O) é dependente do intérprete e não de uma conexão física, espaço-temporal. O alarme é um símbolo.

4. Vantagem Adaptativa

O mecanismo de aprendizagem das presas é capaz de estabelecer associações entre os alarmes e predadores, convergindo para próximo do valor máximo, ao final. Mas este é somente um aspecto da aprendizagem associativa, onde os sensores visuais e auditivos influenciam a dinâmica da memória associativa. Mas existe também uma realimentação desta memória, na qual o comportamento da presa é influenciado pelas associações estabelecidas. Esta realimentação define a utilização funcional das associações que são aprendidas. Esta característica (funcionalidade) é marcante em comunicação animal, uma vez que a evolução privilegia novas habilidades que aumentam chances de sobrevivência, ou ‘vantagens seletivas’ (ver Hauser 1997, Seyfarth & Cheney 2003)

Para analisar a vantagem seletiva no sistema de comunicação, façamos uma rápida comparação entre o uso indexical e o uso simbólico dos alarmes. Se a comunicação é indexical, a audição de um alarme dirige a atenção da presa para o emissor, e seus arredores, e significa que a presa não é capaz de estabelecer relações de associação entre alarmes e itens do ambiente, ou, se é capaz de as aprender, que estas associações não afetam o seu comportamento. Quando alarmes são interpretados como símbolos, a presa pode reconhecer uma associação de um alarme ouvido com um predador específico, e utilizá-lo para fuga imediata, sem visualizar o predador. Para ser ‘responsivo’ a índices, é suficiente um comportamento de varredura visual, dirigida ao emissor do alarme e arredores. Para manipular símbolos, a criatura deve estabelecer relações entre estímulos e utilizá-las de modo que esta realimentação possa afetar seu comportamento.

Se, respondendo indexicalmente ao alarme, a presa sempre tiver sua atenção dirigida para um predador, ela sempre poderá fugir

na presença de alarmes, de forma correta, especificamente para cada predador. Nesta situação, o uso de símbolos se tornaria desnecessário, uma vez que um comportamento mais básico parece suficiente. Mas este não é o caso, muitas vezes, já que predadores não são facilmente avistados: a águia ataca mergulhando repentinamente, o leopardo se aproxima furtivamente, escondendo-se atrás de arbustos, a cobra ataca sorrateiramente através da grama alta (Seyfarth & Cheney 1990). Para simular estas propriedades, impusemos uma restrição à visualização de predadores: sempre que um predador estiver dentro da área sensorial de visão do aprendiz, a presa poderá vê-lo efetivamente, ou não, de acordo com uma probabilidade dada.

Na simulação deste experimento, foram colocados no ambiente 6 predadores (2 de cada tipo) e 5 instrutores para emitir alarmes para estes predadores. Para avaliar a vantagem adaptativa do comportamento simbólico em relação ao comportamento indexical, 2 aprendizes foram também colocados no ambiente. Um aprendiz é capaz de aprender associações e ter seu comportamento afetado por estas associações. O outro não é capaz de estabelecer associações e responde aos alarmes sempre com uma varredura do ambiente em busca de eventos co-ocorrentes. A probabilidade de visualizar o predador foi ajustada para ambos em 25%. Os resultados apresentados no gráfico da Figura 5 indicam o número de ataques sofridos por cada aprendiz ao longo das iterações. O aprendiz capaz de responder simbolicamente aos alarmes possui, durante toda a simulação, um número menor de ataques e a diferença entre o número de ataques de cada um é crescente: na iteração 2000 é de 3 ataques, na iteração 8000 é de 7, e na iteração 16000, de 11. Isto parece evidenciar que uma habilidade para manipulação de símbolos provê *vantagem seletiva* para seus usuários.

5. Discussão

O experimento apresentado tem clara conexão com outros experimentos desenvolvidos em Vida Artificial interessados na aquisição de vocabulário referencial em agentes artificiais (para uma revisão, Wagner et al. 2003). Nosso experimento, no entan-

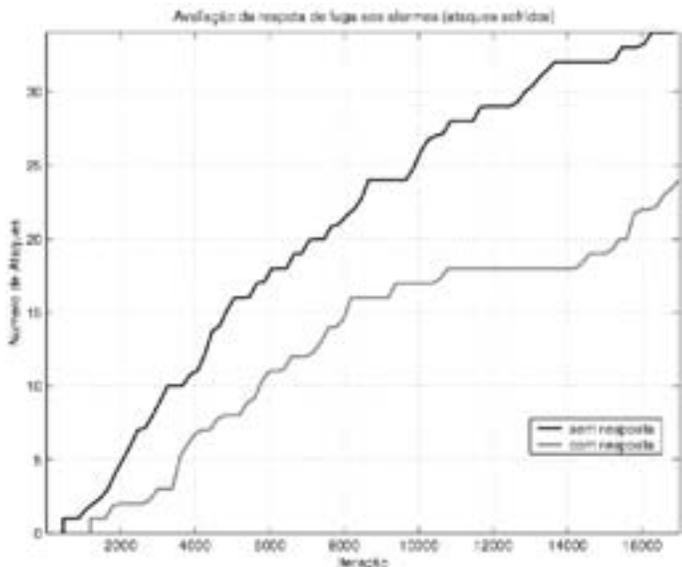


Figura 5: Ataques sofridos pelas presas-aprendizes com e sem resposta simbólica aos alarmes, considerando uma simulação com 2 aprendizes, 5 instrutores e 6 predadores.

to, apresenta diferenças importantes que devem ser destacadas. Primeiro, elaboramos este experimento fundamentando-o em requisitos empíricos – o caso etológico do macacos-vervets – e requisitos teóricos-formais – teoria do signo de Peirce. Concebemos agentes que estão situados em um ambiente, realizam interações comunicativas autônomas, com múltiplos falantes e intérpretes, e aprendem sem realimentação explícita do falante e, portanto, precisam explorar as relações estatísticas entre informações auditivas e visuais. Estas características distinguem este experimento e permitem que interessantes relações possam ser estabelecidas entre a simulação e o caso biológico.

Nas simulações, observamos a transição de uma fase indexical, na qual a resposta às vocalizações obedece a uma busca por elementos em contigüidade espaço-temporal, para uma fase simbólica durante a qual a resposta de fuga pode prescindir de qualquer constatação sobre a presença de predadores. Esta transição correspon-

de ao momento no qual as associações alcançam valores próximo do máximo e começam a afetar diretamente o comportamento das presas. Além disso, verificamos que a habilidade básica de aprendizagem associativa é suficiente para a aquisição e interpretação simbólica de signos, através da gênese de relações habituais entre os elementos envolvidos por parte do intérprete.

A competência para relacionar estímulos condicionados com estímulos não-condicionados, definida pela aprendizagem associativa, é amplamente encontrada em animais não-humanos. Isto permite afirmar que a competência para manipular símbolos pode ser encontrada em um espectro amplo de seres vivos (Ribeiro et al. prelo).

Quanto à vantagem adaptativa da manipulação de símbolos em relação a índices, as simulações mostram que existe, principalmente quando considerados impedimentos à visão de predadores, como ocorre em ambientes naturais. Este resultado corrobora a tese de que ‘o domínio auditivo provê uma vantagem seletiva em relação a comunicação através de canais visualmente obstruídos’ (Hauser 1997: 341).

6. Conclusão

As abordagens sintéticas são férteis ambientes interdisciplinares para avaliação e teste de hipóteses sobre pré-requisitos para emergência de diversos fenômenos cognitivos. Coerções teóricas, combinadas a análises de fenômenos empíricos, têm fornecido subsídios e uma bateria de ‘objetos para simular’ (*formal-theoretical / empirical constraints*). Apresentamos as principais idéias usadas para simulação de comunicação simbólica entre criaturas virtuais. Para construir um cenário digital, e inferir as condições necessárias e suficientes para projetar as criaturas, redescrevemos um caso de comunicação animal, baseados na teoria do signo de Peirce. Sua aplicação é, com poucas exceções, uma ‘novidade teórica’, em termos de abordagens sintéticas (e.g. Cangelosi 2001; Vogt 2003, 2006), já que a maioria dos trabalhos se divide entre abordagens *naive* e de extração lingüística. Diferentemente, as descrições de Peirce ba-

seiam-se em uma teoria lógica-fenomenológica de categorias, com as vantagens de generalidade decorrentes de um modelo que não está primariamente interessado em fenômenos lingüísticos.

Em nossa proposta, e em contraste com o *mainstream*, símbolos resultam de mecanismos simples de aprendizagem associativa. A análise dos processos observados entre macacos-vervet sugere que a aquisição de símbolos começa com o aprendizado de relações indexicais, que reproduzem regularidades espaço temporais externas, detectadas durante a aprendizagem. As simulações indicam que a atuação ótima do aprendizado irá eventualmente resultar em relações de lei, que podem ser generalizadas em outros contextos, em particular no caso onde um signo denota uma classe de objetos, satisfazendo as condições estabelecidas para descrição de semiose simbólica.

Resumo: Baseados na semiótica de C.S.Peirce e inspirados em requisitos etológicos, apresentamos uma metodologia sintética para simular a emergência de comunicação simbólica entre criaturas artificiais em um mundo virtual de eventos de predação.

PALAVRAS-CHAVE: símbolo; comunicação; etologia sintética; C.S.Peirce.

Abstract: *Based on Peircean semiotics and inspired by ethological constraints, we are going to present a synthetic methodology to simulate the emergence of symbolic communication among artificial creatures in a virtual world of predatory events.*

KEYWORDS: *symbol, communication, synthetic ethology, C.S.Peirce*

Referências bibliográficas

- BATALI, J. Computational simulations of the emergence of grammar. In Hurford, J. R., Studdert-Kennedy, M., & Knight, C.(Eds.), *Approaches to the Evolution of Language - Social and Cognitive Bases* Cambridge: Cambridge University Press, pp. 405-426, 1998.
- BICKHARD, M. H. The dynamic emergence of representation. In Clapin, H., Staines, P., Slezak, P. (eds.) *Representation in Mind: New Approaches to Mental Representation*. Elsevier, pp. 71-90, 2004.

- BROOKS, R. A. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2, 14-23, 1986.
- BROOKS, R.A. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence* 47 (1-3), 139-159, 1991.
- BRUNNING, J. 1997. Genuine triads and teridentity. In: Houser, N.; Roberts, D.; Evra, J. (eds.) *Studies in the Logic of Charles Sanders Peirce*. Indiana: Indiana University Press, 1991. p. 252-270.
- BURCH, R. *A Peircean Reduction Thesis*. Texas Tech University Press.
- CANGELOSI, A & Turner, H. L'emergere del linguaggio. In Borghi, A. M., & Iachini, T. *Scienze della Mente* Bologna: Il Mulino, pp.227-244, 2002.
- CANGELOSI, A. Evolution of communication and language using signals, symbols, and words. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 5 (2) 93-101, 2001.
- CARIANI, P. Towards an evolutionary semiotics: The emergence of new sign-functions in organisms and devices. In Van de Vijver/Salthe/Delpo, *Evolutionary Systems*, 359-376, 1998.
- CHENEY, D.L.; Seyfarth, R. *How Monkeys See the World*. Chicago: University of Chicago Press, 1990.
- CHRISTIANSEN, M. H.; Kirby, S. Language Evolution: Consensus and Controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7): 300-307, 2003.
- CLARK, A. *Being There. Putting Brain, Body, and World Together Again*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1997.
- DE TIENNE, A. Learning *qua* semiosis. *S.E.E.D. Journal -- Semiotics, Evolution, Energy, and Development* (3): 37-53, 2003.
- DEACON, T. *Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*. New York: Norton, 1997.
- DEAN, J. Animats and what they can tell us. *Trends in Cognitive Science*. 2(2): 60-67, 1998.
- EL-HANI, C. N.; Qqueiroz, J. & Emmeche, C. A semiotic analysis of the genetic information system. *Semiotica* 160(1/4): 1-68, 2006.
- EMMECHE, C. & Hoffmeyer, J. From language to nature - the semiotic metaphor in biology, *Semiotica* 84 (1/2): 1-42, 1991.

- EMMECHE, C. A semiotical reflection on biology, living signs and artificial life, *Biology & Philosophy* 6 (3): 325-340, 1991.
- FISCH, M. (1986). *Peirce, semeiotic, and pragmatism*. Indiana: Indiana University Press.
- FREEMAN, W. J. Neurobiological Foundation for the Meaning of Information. In: Proceedings of the 11th International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2004, Calcutta, India. Lecture Notes in Computer Science 3316, 2004, pp. 1-9.
- HABERMAS, J. Peirce and communication. In KETNER, K. *Peirce And Contemporary Thought: Philosophical Inquiries*. Fordham University Press. pp. 243-266, 1995.
- HAUSER, M. *The Evolution of Communication*, Cambridge, Mass.: MIT Press. 1997
- HAUSER, M.; Chomsky, N.; Fitch, W.T. The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? *Science* 298 (22): 1568-1579, 2002.
- HOFFMEYER, J. *Signs of Meaning in the Universe*. Bloomington, IN: Indiana University Press, 1996.
- HOUSER, N. Introduction: Peirce as a logician. In Houser, N., Roberts, D., & Evra, J. (Eds.) *Studies in the logic of Charles Sanders Peirce* Indiana: Indiana University Press, pp. 1-22, 1997.
- HUTCHINS, E.; Hazlehurst, B. How to invent a lexicon: the development of shared symbols in interaction. In Gilbert, G. N.; Conte, R. (eds.) *Artificial Societies: The computer simulation of social life*. Londres: UCL Press, 1995.
- JABLONKA E. Information: its interpretation, its inheritance and its sharing. *Philosophy of Science*, 69: 578-605, 2002.
- JABLONKA E.; Lamb, M.J. *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. Cambridge, Mass: Bradford Books, The MIT Press, 2005.
- KIRBY, S. Language evolution: consensus and controversies. *Trends in Cognitive Science* 7 (7): 300-307, 2003.
- LANGTON, C. G. (ed.) *Artificial Life - An Overview*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1995.

- LOULA, A.; Gudwin, R.; Queiroz, J. Symbolic Communication in Artificial Creatures: an experiment in Artificial Life. *Lecture Notes in Computer Science* 3171 (17th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence - SBIA), 336-345, 2004.
- MACLENNAN, B. Synthetic ethology: a new tool for investigating animal cognition. In: Bekoff, M.; Allen, C.; Burghardt, G. M. (eds.). *The Cognitive Animal: Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition*. Cambridge, Mass.: MIT Press, pp.151-156, 2002.
- _____. The emergence of communication through synthetic evolution. In Patel, M., Honavar, V. & Balakrishnan, K. (eds.), *Advances in the Evolutionary Synthesis of Intelligent Agents* Cambridge, Mass.: MIT Press, pp. 65-90, 2001.
- MAYNARD SMITH, J.; Szathmary, E. *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origin of Language*. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- NOLFI, S.; Floreano, D. Synthesis of autonomous robots through evolution. *Trends in Cognitive Science* 6 (1): 31-37, 2002.
- NÖTH, W. Semiogenesis in the evolution from nature to culture. In: *In the Beginning: Origins of Semiosis*, M. Alac & P. Violi (eds.), 69-82. Turnhout: Brepols, 2004.
- PEIRCE, C.S. *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Vols. I-VI. In: Hartshorne, C.; Weiss, P. (eds.). Cambridge, Mass.: Harvard University Press. 1931-1935.
- PIETARINEN, A. *Signs of Logic : Peircean Themes on the Philosophy of Language, Games, and Communication* (Synthese Library, Vol. 329). Netherlands: Springer, 2005.
- QUEIROZ, J. & El-Hani, C. N. Semiosis as an emergent process. *Transactions of the Charles Sanders Peirce Society* 42 (1): 78-116, 2006A.
- QUEIROZ, J. & El-Hani, C. N. Towards a multi-level approach to the emergence of meaning processes in living systems. *Acta Biotheoretica* 54 (3): 174-206, 2006B.
- QUEIROZ, J. & Merrell, F. Semiosis and pragmatism: toward a dynamic concept of meaning. *Sign Systems Studies*, prelo.
- QUEIROZ, J. Comunicação simbólica em primatas não-humanos: uma análise baseada na semiótica de C.S.Peirce. *Rev Bras Psiquiatr* 25 (Supl II): 2-5, 2003.

- _____. *Semiose segundo C.S.Peirce*, 2004.
- QUEIROZ, J.; Ribeiro, S. The biological substrate of icons, indexes and symbols in animal communication: a neurosemiotic analysis of Vervet monkey alarm-calls. In: shapiro, M. (ed.) *The Peirce Seminar Papers* 5. Berghahn Books, 2002. p.69-78.
- RIBEIRO, S.; Loula, A. ; Araujo, I.; Gudwin, R. ; Queiroz, J. . Symbols are not uniquely human. *Biosystems*, prelo.
- ROY, D. Grounding words in perception and action: insights from computational models. *Trends in Cognitive Science*, 9 (8): 389-96, 2005a.
- _____. Semiotic schemas: a framework for grounding language in the action and perception. *Artificial Intelligence*, 167 (1-2): 170-205, 2005b.
- SEYFARTH, R. M. & D. L. Cheney . Signalers and receivers in animal communication. *Annual Review of Psychology* 54:145–173, 2003.
- SEYFARTH, R.; Cheney, D.L. Meaning and mind in monkeys. *Scientific American* (December), 1992.
- SEYFARTH, R.; Cheney, D.L.; Marler, P. Monkey responses to three different alarm calls: evidence of predator classification and semantic communication. *Science* (210): 801-803, 1980.
- SZATHMARY, E.; Maynard Smith, J. The major evolutionary transitions. *Nature* 374: 227-232, 1995.
- VOGT, P. Anchoring of semiotic symbols. *Robotics and Autonomous Systems* 43 (2), 109-120, 2003.
- _____. Language evolution and robotics: issues on symbol grounding and language acquisition. In: loula, A., gudwin, R. & queiroz, J. (eds.) *Artificial Cognition Systems*. Hershey: Idea Group, 2006, pp. 176-209.
- WAGNER, K.; Reggia, J. A.; Uriagereka, J.; Wilkinson, G. S. Progress in the simulation of emergent communication and language. *Adaptive Behavior* 11 (1): 37-69, 2003.
- WANG, W. S-Y.; Minett, J. W. Vertical and horizontal transmission in language evolution. *Transactions of the Philological Society*, 103(2):121-146, 2005
- ZIEMKE, T.; Sharkey, N.E. A stroll through the worlds of robots and animals: applying Jakob von Uexküll’s theory of meaning to adaptive robots and artificial life. *Semiotica* 134 (1-4): 701-746, 2001.

O que é uma Causa?

Oswaldo Pessoa Jr.¹

1. Introdução

A causa da extinção do dodô (Figura 1) – ave não voadora pesando até 25 kg, que habitava a ilha Maurício – que ocorreu no séc. XVIII, foi o fato de todos os espécimes terem sido comidos por marinheiros europeus que ali aportavam.

Tal episódio envolveu dois eventos, uma *causa* (comilança dos dodôs pelos marinheiros) e um *efeito* (extinção dos dodôs), e é perfeitamente compreensível para nós. No entanto, há casos em que a atribuição de causalidade se torna mais problemática. Este artigo pretende examinar alguns aspectos gerais da noção de “causalidade” ou “causação”², apresentando diferentes teorias ou interpretações da causalidade, tendo em vista fornecer instrumentos para analisar os casos menos claros de causação.

¹ Depto. Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo, opessoa@usp.br

² Os termos “causalidade” e “causação” serão usados de modo intercambiável. Poder-se-ia distingui-los da seguinte forma: “causalidade” se referiria aos princípios envolvidos na relação entre causa e efeito, ao passo que “causação” se referiria à relação propriamente dita. Em português, o termo “causalidade” tem sido mais usado tradicionalmente em filosofia (em ambas as acepções indicadas), mas o uso do termo *causation* na contemporânea metafísica de língua inglesa tem levado ao uso freqüente de “causação”.



Figura 1: Dodô
Esta figura do dodô, *Raphus cucullatus*, foi obtida do sítio <http://www.davidreilly.com/dodo/>, e é uma cópia do original que aparece em *A German Menagerie Being a Folio Collection of 1100 Illustrations of Mammals and Birds*, Edouard Poppig, 1841.

2. Condição INUS

Uma primeira consideração fundamental é a noção de que, em geral, a relação entre uma causa e um efeito é a de uma “condição INUS”. Consideremos o exemplo da extinção do dodô. Será que a comilança dos dodôs pelos marinheiros (C) foi causa *necessária* para a extinção dos dodôs (E)? Não, pois os dodôs poderiam ter sido extintos por outras causas, como a erupção de um vulcão em Maurício ou a introdução de cachorros na ilha. Será que a comilança foi causa *suficiente* para a extinção? Também não, pois se dezenas de espécimes tivessem sido levados para um zoológico europeu, ou se os dodôs habitassem outras ilhas não visitadas pelos marinheiros, então a comilança em Maurício não teria sido suficiente para extinguir os dodôs. John Stuart Mill (1843, livro III, cap. V) chamara atenção para o fato de que nenhuma causa é verdadeiramente suficiente ou necessária para seu efeito.

O que foi suficiente para a extinção do dodô foi um conjunto de condições, que incluiu a comilança, o fato de só haver dodôs em Maurício, de nenhum espécime ter sido levado para um zoológico etc. Este conjunto α foi suficiente para a produção do efeito E, mas tal conjunto não foi necessário para E, pois a extinção poderia ter

ocorrido devido a um outro conjunto β de condições, envolvendo por exemplo a erupção de um vulcão em Maurício (Figura 2).

Considerando agora o conjunto α , vemos que a causa C não seria suficiente para produzir o efeito de α , mas certamente C é necessária para a formação do conjunto α .

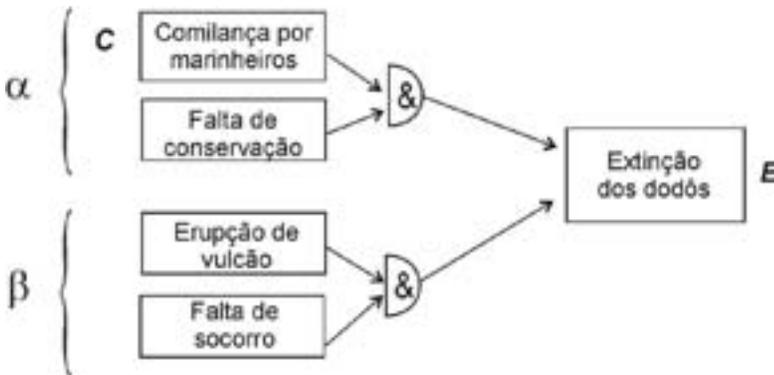


Figura 2: Estrutura geral da condição INUS.

Em suma, C é uma condição *insuficiente* mas *necessária* de um conjunto α que é, por seu turno, *desnecessário* (*unnecessary*, em inglês) mas *suficiente* para a produção de E . As iniciais em inglês dos quatro adjetivos grifados formam o acrônimo “INUS”, termo cunhado pelo filósofo australiano, radicado em Oxford, John Mackie (1965), em seu influente estudo sobre a causalidade. Uma outra maneira de frasear este critério é considerar a causa um “elemento necessário de um conjunto suficiente”. Problemas com esta definição são discutidos, por exemplo, por Pearl (2000, pp. 314-5), mas não entraremos nessas considerações.

3. Casos Exemplares

Suponhamos que a humanidade se extinga, e que a Terra seja descoberta por seres inteligentes e pacíficos com interesses em desvendar a história da vida terrestre com métodos de datação extremamente precisos. Investigando as ilhas do Oceano Índico, eles descobrem em cada uma delas fósseis de aves relativamente

grandes e de asas pequenas³, e percebem que a data de sua extinção coincide com os primeiros fósseis de porcos que aparecem em cada uma dessas ilhas. Fazem a previsão de que sempre que forem encontrados fósseis de porcos nas ilhas do Índico, a data desses fósseis coincidirá com a data dos últimos fósseis dos pássaros. Essa lei se mostra bastante útil, pois ela é confirmada nas várias novas ilhas investigadas.

Estabelece-se assim uma *correlação* entre extinção de aves (*E*) e aparecimento de porcos (*P*). Essa correlação não precisa ser perfeita: pode acontecer que em algumas ilhas ela falhe, mas se atender a certos critérios da teoria da Estatística, a correlação será significativa. Ou seja, geralmente os dois eventos aparecem juntos. No entanto, *estabelecer uma correlação não implica estabelecer uma relação causal*, pois não sabemos o que causou o quê.

Considerando *E* e *P*, qual é a causa, qual é o efeito? Este pode ser chamado o *problema dos efeitos* (Lewis, 1973 [1999], p. 441). Será que a extinção dos pássaros abriu espaço nas ilhas para a presença dos porcos? Ou será que os porcos apareceram antes da extinção, tendo comido os pássaros? Nesse momento nosso conhecimento sobre os processos causais da natureza animal irá privilegiar a segunda hipótese, pois sabemos que muitos animais são carnívoros. Assim, nossa teoria sobre o mundo, ou nossa teoria científica, pode nos guiar na resolução do problema dos efeitos. Se os alienígenas pudessem realizar experimentos com porcos e aves em ilhas, manipulando os fatores, talvez o problema tivesse uma resposta mais segura.

Felizmente para nossos cientistas extraterrestres, eles tinham ao seu dispor uma técnica de datação tão precisa que era capaz de determinar o mês em que um animal morreu. Assim, começaram a aplicar esta técnica para todos os fósseis e descobriram que a vinda dos porcos sempre ocorria *antes* da extinção dos pássaros. Devido à ordenação

³ Há de fato diversos pássaros extintos que se enquadram nessa descrição, como o solitário ou dodô branco da ilha de Reunião (*Raphus solitarius*), o solitário da ilha de Rodrigues (*Pezophaps solitaria*), além do famoso moa da Nova Zelândia (*Dinornis* sp.). Ver: <http://piclib.nhm.ac.uk/piclib/www/index.php>.

temporal dos eventos, concluíram que P causa E , e não o contrário. O problema dos efeitos em geral pode ser resolvido analisando-se a ordenação temporal dos eventos, pois parece ser uma lei geral da Física que a causa sempre precede temporalmente o efeito (Figura 3). Mesmo assim, muitas teorias de causalidade procuram estabelecer critérios anteriores à questão da temporalidade para resolver este problema, pois consideram que uma teoria da causalidade deve ser anterior a considerações sobre a natureza de nosso mundo em particular.

O leitor já deve ter imaginado um segundo problema nesse estudo de Ecologia interplanetária: talvez P não seja causa de E , mas ambos tenham uma *causa comum*. Este problema é às vezes chamado de *pro-*

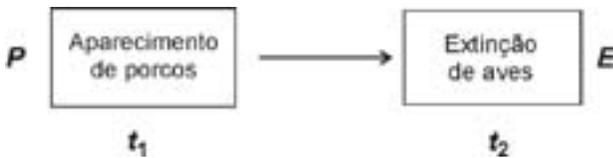


Figura 3: O problema dos efeitos geralmente pode ser resolvido por ordenação temporal.

blema dos epifenômenos. Da maneira como imaginamos esse exemplo fictício, de fato houve uma causa comum: teria sido a vinda do homem às ilhas do Oceano Índico (C) que causou a extinção das aves, pois com suas armas de fogo eles dizimaram os bípedes plumados para saciar sua fome. E teriam sido esses mesmos homens que trouxeram porcos às ilhas, também com a finalidade de se alimentarem deles. Mas os porcos não teriam comido aves em número significativo, de forma que P não causou E , mas C causou P , e C causou E (Figura 4).

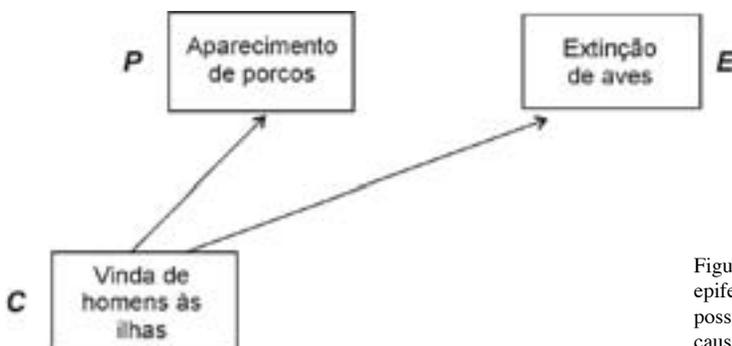


Figura 4: O problema dos epifenômenos envolve a possível presença de uma causa comum.

Uma terceira questão é o *problema da causa remota*. Imagine a situação em que os marinheiros não gostassem do sabor da carne dos pássaros, mas seus cães adorassem. Assim, consideraríamos mais plausível dizer que a causa da extinção das pássaros foi a voracidade dos cachorros (*D*). A vinda do homem teria sido responsável pela introdução dos cães nas ilhas, e esses os responsáveis pela extinção dos dodôs e seus congêneres: *C* causa *D*, e *D* causa *E*. Poderíamos dizer que *C* é causa remota de *E*, e *D* causa próxima (Figura 5). Como determinar se uma causa aparente é de fato remota? Uma possibilidade seria realizar experimentos de manipulação, em que *C* ocorre sem *D*, e *D* ocorre sem *C*. Ocorrem casos, porém, em que na prática não é possível separar *C* e *D*, e então seria nossa teoria do mundo que determinaria a causa próxima.



Figura 5: Uma causa remota pode ser expressa como uma composição de causas.

A quarta questão, que deve se abarcada por qualquer teoria da causalidade, é o *problema das causas múltiplas*. É um fato verídico que na ilha de Reunião, próxima a Maurício, havia uma espécie de dodô branco, que veio a se chamar “solitário”. Vamos supor que, nesta ilha, os solitários tenham sido comidos tanto pelos homens quanto pelos cachorros e pelos porcos. Assim, a extinção destes columbiformes (pois são da mesma ordem que os pombos) teria tido três causas independentes, cada qual com um certo peso. Na Figura 6, representa-se esta situação com três setas independentes. A ação de cada causa não depende da ação das outras, ou seja, se *S* estivesse ausente, *C* e *D* continuariam causando *E*. Este exemplo envolve um coletivo de indivíduos: se pensarmos em um solitário particular, chamado Enésio, então apenas uma das causas atuaria (sendo que a probabilidade de esta causa ter ocorrido seria igual ao peso indicado na figura). Podemos representar o caso particular com letras minúsculas,

e para a morte de Enésio, e_1 , dizer que “ c causou e_1 , ou d causou e_1 , ou s causou e_1 ”. Nota-se aqui o uso da disjunção “ou”: nesse sentido uma causa múltipla está associada a uma *disjunção de causas*. Vimos na seção 2 um exemplo de disjunção, quando afirmamos que a causa da extinção dos dodôs pode ter sido causado ou pelo conjunto α ou pelo conjunto β (a notação na Figura 2, em termos de setas independentes, é a mesma da Figura 6). A distinção entre uma causa envolvendo um evento particular (e_1) e uma causa envolvendo um evento coletivo (E) ou geral (com um número ilimitado de eventos, como em uma lei da natureza) é importante em diversos contextos.



Figura 6: Causas múltiplas, cada qual com um certo peso. A extinção de um único solitário é causado ou por uma instância de C, ou por uma instância de D ou por uma instância de S (uma disjunção de causas).

Há também o *problema da conjunção de causas*. Muitas vezes, um efeito só ocorre quando duas ou mais causas estão presentes. Vimos isso na seção 2, quando admitimos que geralmente nenhuma causa é individualmente suficiente para a produção de um efeito. A extinção dos dodôs teria sido causada pela fome dos marinheiros, em conjunto com o fato de que espécimes não foram conservados em zoológicos, etc. (Figura 7). Aqui, porém, pode-se argumentar que na época ninguém se preocupava com a conservação de animais, de forma que a não-conservação dos dodôs não seria uma “causa” para sua extinção, mas no máximo uma “condição” de

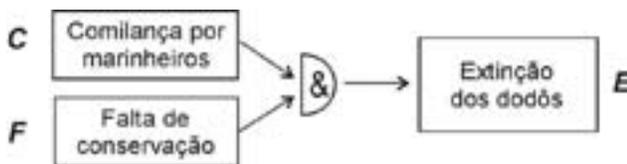


Figura 7: Exemplo de conjunção de causas.

fundo. Haveria um número infindável de condições que conjuntamente com *C* levaram a *E*, mas o controle dessas variáveis seria muito mais difícil para os homens da época, ao passo que a deglutição de todos os pássaros não-voadores daquelas ilhas poderia ter sido evitado. Na área de Direito, a distinção entre causas e condições é muito importante para se determinar quem é o responsável ou culpado por um crime (Honoré, 2005).

Uma sexta questão é o *problema da preempção*. Vamos imaginar que na ilha de Reunião os marinheiros desembarcaram e ficaram felizes com a presença do solitário. Teriam carne boa para se alimentar durante um longo tempo, e assim foram displicentes com o cercamento dos porcos, e estes acabaram fugindo. No mato, o instinto selvagem dos suídeos (*S*) propiciou a extinção dos solitários. Neste exemplo, *C* iria causar *E*, mas uma outra causa, *S*, interceptou o processo e tornou-se a causa genuína de *E*. Se *S* não tivesse ocorrido, *E* teria sido extinto da mesma maneira (Figura 8). Dizemos que ocorreu preempção do processo causal ligando *C* e *E*. Notamos neste exemplo que, para explicar a natureza da preempção, utilizamos “condicionais contrafactuais”. Ou seja, escrevemos “se *S* não tivesse ocorrido, então...”, sabendo que *S* de fato ocorreu, em nosso exemplo. Veremos adiante que tais condicionais contrafactuais podem ser usados para definir a relação de causação.

Por fim, deve-se mencionar o *problema da causação circular*. Às vezes, dois eventos reforçam-se mutuamente. Por exemplo, quando um marinheiro come um dodô (*E*), isso lhe dá prazer e ele sai à caça de mais dodôs (*C*), o que é causa de mais uma refeição de

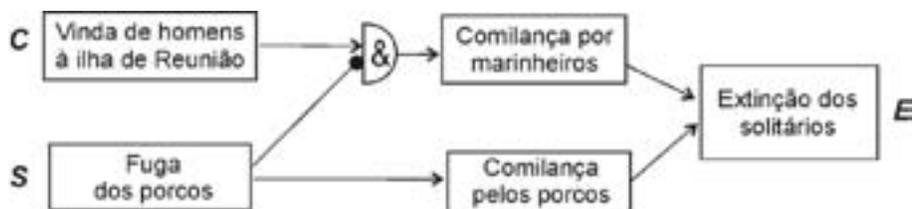


Figura 8: Exemplo de preempção, onde *S* torna-se causa genuína de *E* ao quebrar a cadeia causal entre *C* e *E* (esta inibição é representada por uma linha terminada em bola).

dodôs (E), que dá novo prazer ao marinheiro, que no dia seguinte caça mais um dodô (C), etc. Aparentemente, C causa E e E causa C , quebrando a distinção entre causa e efeito e violando a ordenação temporal. No entanto, o que está ocorrendo é que cada saída para caçar é um evento diferente (c_1, c_2 , etc.), assim como cada refeição (e_1, e_2 , etc.). A causação circular é na verdade uma composição de causas ordenadas temporalmente: c_1 causa e_1 , que causa c_2 , que causa e_2 , que causa c_3 , etc. (Figura 9).



Figura 9: Uma causação circular envolvendo C e E é na verdade uma cadeia de causações sucessivas entre instâncias de C e E .

4. *Quatro Concepções de Causalidade*

Vimos na seção anterior alguns casos exemplares de relações causais. Esses exemplos típicos são os elementos básicos na construção de redes causais complicadas que pretendem servir de modelo para diferentes situações do mundo real. Mas, afinal, o que é uma causa? Mencionaremos agora algumas concepções a respeito da natureza da causalidade. Ao invés de nos forçarmos a escolher uma dentre elas, adotaremos uma postura “pluralista”, supondo que cada concepção salienta um aspecto relevante de relações causais. A eventual preferência por uma ou mais dessas concepções dependerá da situação particular que viermos a analisar.

4.1. *Causalidade como Relação Substancial*

A concepção clássica da relação causal é que ela envolve uma ligação real entre dois eventos, uma ligação substancial. Esta concepção estava presente em Descartes, Spinoza, e outros filósofos da corrente “racionalista”. Ao dizermos que Deus é causa do mundo, subentende-se que há uma relação de produção necessária.

No âmbito da ciência do séc. XIX, o conceito de “transferência de energia” passou a ser visto como o suporte das relações causais: um corpo *A* causa uma mudança em um corpo *B* ao lhe transferir parte de sua energia. No séc. XX, Wesley Salmon elaborou a noção de “processo causal”, que envolveria a linha de mundo de um objeto que possui uma quantidade conservada (energia, momento linear, etc.).

Em seu interessante artigo sobre a metafísica da causação, Schaffer (2003, § 2.1) chama esta a “questão da conexão”, distinguindo dois grandes grupos de teorias, as que vêem a causação como um processo e as que a vêem meramente como alteração de probabilidade.

4.2. *Causalidade como Regularidade*

Para David Hume, “causação” seria um nome que se dá para fenômenos de conjunção constante ou correlação, que exprimem uma regularidade ou uma lei. Assim, dizemos que um evento particular *c* causa um evento particular *e* se *c* ocorre e é seguido pela ocorrência de *e*, e se houver uma regularidade entre a ocorrência de eventos da classe *C* (à qual pertence *c*) e da classe *E* (à qual pertence *e*). Além dessas condições, Hume estipulou também que a causa deve preceder temporalmente o efeito, e que eles devem ser contíguos no espaço. Esta tese da “ação por contigüidade” exprime a noção corrente no mecanicismo clássico (anterior à teoria da gravitação de Newton) de que um corpo não pode agir à distância sobre outro, mas apenas através de colisões ou empurrões.⁴

Para os empiristas clássicos, não se deve dizer que a relação de causação existe na realidade, mas apenas que ela é “projetada” por nós, por força do hábito. Immanuel Kant herdaria esta concepção, considerando, porém, que a causalidade seria uma “categoria do entendimento”, ou seja, uma maneira necessária pela qual organizamos a experiência perceptiva.

No séc. XIX, John Stuart Mill elaboraria a noção humiana com maiores detalhes, propondo cinco “regras de indução” para

⁴ Em português, um estudo didático da teoria da regularidade é apresentado por Costa (2006).

se determinar o que causa o quê (Mill, 1843, livro III, cap. VIII), e distinguindo entre dois tipos básicos de conjunção de causas: a linear (ou “homopática”, exemplificada pela colisão simultânea de dois corpos vindos de direções diferentes em um terceiro corpo) e a não-linear (“heteropática”, exemplificada pela reunião de duas substâncias químicas transparentes, produzindo uma terceira substância colorida) (Mill, 1843, livro III, cap. VI).

4.3. *Causação Contrafactual*

Hume ([1748] 1980, seção VII, § 60, p. 166) também mencionou que um evento a é causa de outro e no caso em que, se a não tivesse ocorrido, b também não teria ocorrido. Esta é uma maneira de caracterizar a causação em termos de “condicionais contrafactuais”, ou seja, a partir de uma situação que não ocorreu.

Por exemplo, se quisermos caracterizar uma situação simples de conjunção de causas, como o da Figura 7, escreveríamos o seguinte: “ C e F ocorreram e E ocorreu; se C não tivesse ocorrido, E não ocorreria; se F não tivesse ocorrido, E não ocorreria”.

A concepção contrafactual da causação foi desenvolvida por John Mackie, e posteriormente aprofundada por David Lewis, que interpretou os condicionais contrafactuais em termos de mundos possíveis (ver Menzies, 2001).

4.4. *Causação por Manipulação*

Em muitas situações práticas em que se constata uma correlação entre duas classes de eventos, para determinar qual é a causa e qual é o efeito (ou então para identificar uma causa comum) basta *controlar* um dos eventos, e observar se isso afeta o outro evento. Este procedimento pode ser tomado como a própria definição de causação. Assim, dizer que um evento A é causa de um evento B exprime o fato de que uma manipulação (ou intervenção) em A afeta o evento B . Esta concepção tem sido defendida no séc. XX por filósofos como o sueco von Wright e os australianos Menzies & Price, além de Pearl (ver Woodward, 2001).

5. Causação Probabilista

Muitos autores, como Reichenbach, Suppes e Salmon, salientam que a relação causal deve ser concebida como uma relação probabilista. Tal constatação se adapta às quatro concepções apresentadas na seção anterior, e por isso será explicitada separadamente.

Consideremos um exemplo simples, em que a chegada de marinheiros nas ilhas do Oceano Índico (*C*) causa a extinção de aves sem asas nessas ilhas (*E*). Pois bem, pode acontecer que nem sempre a chegada de navegantes naquela época leva à extinção dos pássaros. De uma certa ilha, por exemplo, algum marinheiro pode resolver levar um grupo de aves para um zoológico europeu, salvando-as da extinção. Em outra, as aves poderiam ter acesso a um esconderijo. Assim, a chegada dos marinheiros causa a extinção dos pássaros, mas apenas com uma certa probabilidade menor do que 1.

Neste exemplo, poder-se-ia argumentar que as relações causais em questão não são realmente probabilistas, mas sim que elas envolvem a conjunção com outras causas, e que a presença ou não dessas outras causas nos é desconhecida. Por exemplo, a relação causal genuína poderia ser aquela expressa pela Figura 7, e na ilha em que atuou o marinheiro conservacionista a causa *F* simplesmente não ocorreu.

O que esta discussão simples indica é que sempre é possível, para qualquer modelo causal probabilista, construir um modelo causal equivalente que seja *determinista*, ou seja, para o qual todas as probabilidades sejam iguais a 1. No entanto, na prática, geralmente não se conhecem todas as causas que atuam em um sistema. Assim, mesmo que vivamos em um universo determinista, só conseguimos capturar uma parte das causas atuantes, de forma que torna-se necessário exprimir as relações causais em termos probabilistas. O problema de se o Universo é determinista ou não é uma questão em aberto, mas ambas as situações são adequadamente tratadas por modelos causais probabilistas.

Muitas vezes, a ocorrência de um conjunto suficiente de causas, como o da Figura 7, não produz imediatamente o efeito. Para expri-

mir esta situação, estipula-se a probabilidade de o efeito E ocorrer, em um certo intervalo de tempo Δt , a partir do instante em que C e F ocorreram: $\text{prob}_{\Delta t}(E/C\&F)$.

Segundo esta concepção, pode-se dizer que C é causa probabilista de E se a ocorrência de C aumentar a probabilidade de E ocorrer. Para exprimir isso em termos de diagramas causais (Figura 10), consideremos um conjunto γ que, na ausência de C , leve causalmente ao evento E com uma certa probabilidade $\text{prob}(E/\gamma)$. O que a afirmação precedente diz é que a probabilidade $\text{prob}(E/\gamma\&C)$ de E ocorrer, na presença de γ e C , é maior do que $\text{prob}(E/\gamma)$.

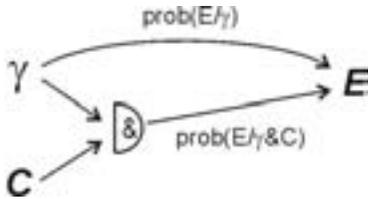


Figura 10: Diagrama exprimindo a concepção probabilista, segundo a qual “ C causa E ” significa que $\text{prob}(E/\gamma) < \text{prob}(E/\gamma\&C)$.

6. Modelos Causais

As idéias e diagramas vistos anteriormente servem de base para construir *modelos causais* de situações reais⁵. Modelos causais foram usados no séc. XX em diferentes áreas do conhecimento. Pearl (2000, p. 26) cita seu uso em genética, com Sewall Wright (1921, ver Figura 11), econometria (Haavelmo, 1943) e ciências sociais (Duncan, 1975). Em física e engenharia, a análise de circuitos elétricos pode ser visto como um exemplo de modelo causal. No entanto, a Estatística encarava com relutância o estudo científico da causalidade, desde o momento que Karl Pearson

⁵ Para Pearl (2000, p. 203), um modelo causal é uma descrição matemática de um conjunto de variáveis v_i , por meio de um conjunto de funções f_i cujos argumentos são outras variáveis endógenas a_i e também variáveis exógenas u_i (representadas de maneira estocástica): $v_i = f_i(a_i, u_i)$. Alternativamente, pode-se utilizar uma representação probabilista que faz uso do “teorema de Bayes” para calcular probabilidades condicionais à luz de novas evidências. Em termos matemáticos, um diagrama estrutural como o da Figura 12 é um “grafo acíclico direcionado”.

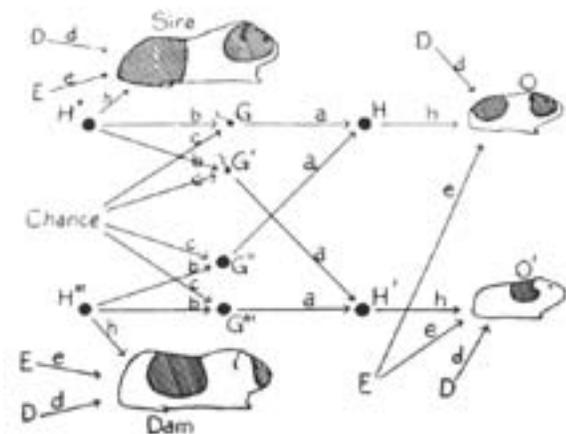


Figura 11: Diagrama exprimindo um modelo causal na genética, feito por Sewall Wright em 1920 (reproduzido de Pearl, 2001, pp. 345, 358).

(1911) a chamou de “fetiche” e a substituiu pela noção de correlação (Pearl, 2000, p 340). O único procedimento estatístico que veio a ser aceito para testar uma relação causal foi o experimento randomizado de Ronald Fisher (1936).

Esta relutância da Estatística em analisar a causalidade tem diminuído nas últimas décadas, e a partir de 1990 vários grupos têm elaborado estratégias, com o auxílio da computação, para estabelecer quais são as relações causais entre um conjunto de variáveis. Para fazer isso, não basta *observar* o comportamento estatístico das variáveis, mas é necessário também fazer experimentos, que envolvem uma *intervenção* (controle, manipulação, ver seção 4.4) nas variáveis, fixando os valores de certos elementos causais para daí observar os efeitos gerados (Pearl 2000, pp. 42-3, 348; Woodward 2001). Além disso, técnicas de simplificação de redes causais complicadas têm sido elaboradas. Além de Judea Pearl e seu grupo na Universidade da Califórnia, em Los Angeles, outro grupo muito ativo e próximo da filosofia da ciência é o da Universidade de Carnegie Mellon, em Pittsburgh, envolvendo Peter Spirtes, Clark Glymour & Richard Scheines (2000).

7. Modelos Causais da História da Ciência

Para finalizar, daremos um exemplo de modelo causal proposto em nossa abordagem à história da ciência, baseada em unidades de

conhecimento, chamados “avanços”, que se relacionam de maneira causal (Pessoa, 2005).

Trata-se de um modelo causal do início da ciência do magnetismo, que ocorreu independentemente na China e na Europa. A diferença marcante entre essas duas histórias possíveis foi a descoberta da bússola (ou da propriedade diretiva da magnetita) na China, mas não na Europa. O modelo causal consiste de um diagrama *único*, contendo avanços ligados por relações causais, que dá conta das diferentes histórias (Figura 12). De acordo com a presente re-

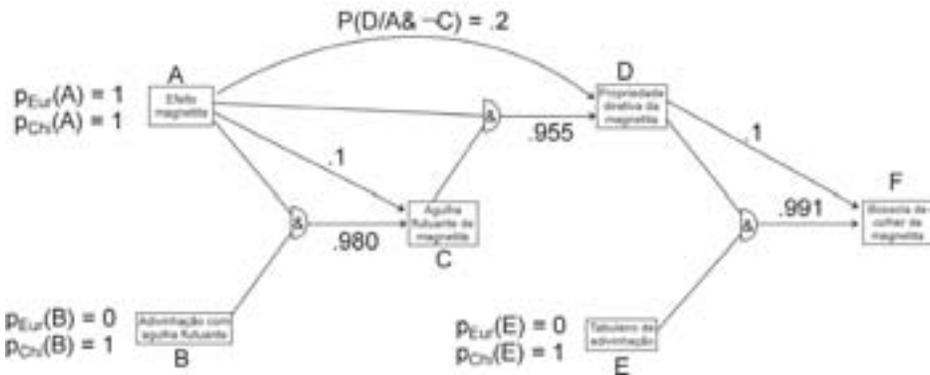


Figura 12: Modelo causal simplificado para o nascimento da ciência do magnetismo.

construção, baseada em Needham (1962), a diferença entre as duas histórias é devida principalmente à forte presença de técnicas de adivinhação na China. Apesar de tais manifestações culturais associadas com a magnetita estarem presentes (em menor grau) também na Europa, por exemplo na ilha de Samotrácia, simplificamos a situação, considerando que as probabilidades iniciais das técnicas de adivinhação *B* e *E* na Europa seriam nulas, enquanto na China seriam 1.

O caminho que levou à primeira bússola magnética, na forma de uma colher de magnetita (*F*), iniciou-se com a descoberta e exploração do “efeito magnetita” (*A*) (a atração mútua da magnetita e a atração entre o ferro e a magnetita), que se deu tanto na China quanto na Europa. Porém, na China havia uma

técnica de adivinhação feita com uma agulha de ferro untada posta a boiar na água (*B*), e que levou a uma variação envolvendo uma agulha de magnetita flutuante (*C*). Com tal arranjo prático, a descoberta de que a agulha de magnetita se alinha na direção norte-sul (*D*) tornou-se altamente provável, e de fato ocorreu na China em torno do início da Era Cristã, mas não no Ocidente. Depois desta descoberta, o passo era pequeno até o desenvolvimento da bússola rudimentar (*F*).

Na Figura 12, algumas relações causais são representadas por probabilidades precisas, e outras por valores imprecisos. Estes últimos são frutos de uma estimativa grosseira, ao passo que os primeiros são calculados de uma maneira explicada em Pessoa (2006). Todos representam a probabilidade de ocorrência de um efeito em um intervalo de tempo de referência $T = 400$ anos.

Referências Bibliográficas

- COSTA, C.F. *A Relação Causal*. <http://www.filosofia.cchla.ufrn.br/claudio/metafisica/causalidade.pdf>, 2006.
- HONORÉ, A. Causation in Law. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/causation-law/>, 2005.
- HUME, D. [1748] Investigação sobre o Entendimento Humano. In *Os Pensadores – Berkeley, Hume*, 2ª ed., trad. L. Vallandro, Abril Cultural, São Paulo, pp. 133-204, 1980.
- LEWIS, D. Causation. *Journal of Philosophy* 70, 556-67. Republicado em: Kim, J. & Sosa, E. (orgs.) (1999), *Metaphysics: An Anthology*, Blackwell, Oxford, pp. 436-43, 1973.
- MACKIE, J.L. Causes and Conditions. *American Philosophical Quarterly* 2, 245-64. Republicado em: Kim, J. & Sosa, E. (orgs.) (1999), *Metaphysics: An Anthology*. Oxford: Blackwell, pp. 413-27, 1965.
- MENZIES, P. Counterfactual Theories of Causation. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/causation-counterfactual/>, 2001.
- MILL, J.S. *System of Logic*, vol. 1. Londres: John Parker. Tradução parcial para o português: “Sistema de Lógica Dedutiva e Indutiva” 1843, in

- Os Pensadores*, trad. J.M. Coelho, Abril Cultural, São Paulo, 1979.
- NEEDHAM, J. *Science and Civilization in China*, vol. 4: “Physics and Physical Technology”, part I: “Physics”, em colaboração com W. Ling & K.G. Robinson. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
- PEARL, J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- PESSOA JR., O. Causal Models in the History of Science. *Croatian Journal of Philosophy* 5, pp. 263-74, 2005.
- Computation of Probabilities in Causal Models of History of Science, submetido ao *Principia* (Florianópolis), 2007.
- SCHAFFER, J. The Metaphysics of Causation, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/causation-metaphysics/>, 2003.
- SPIRITES, P.; Glymour, C. & Scheines, R. *Causation, Prediction, and Search*. 2ª ed. Nova Iorque: Springer, 2000.
- WOODWARD, J. Causation and Manipulability. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <http://plato.stanford.edu/entries/causation-manipulability/>, 2001.



Síntese Computacional de Fenômenos Naturais: Vida Artificial e Geometria Fractal Parte 1: Síntese Comportamental

*Yupanqui Julho Muñoz¹
Leandro Nunes de Castro¹*

1. Introdução

Sintetizar computacionalmente formas e comportamentos da natureza é uma tendência e também uma necessidade da atualidade. A indústria das artes, incluindo animação comportamental, cinema, jogos eletrônicos, e diversas outras áreas, precisa de abordagens capazes de sintetizar, de forma rápida e parcimoniosa, padrões e comportamentos encontrados na natureza. Por exemplo, tradicionalmente, ao desejarmos sintetizar virtualmente ou computacionalmente a forma de uma montanha ou planta, a idéia básica envolvia a utilização de formas Euclidianas comuns (p. ex., esferas, cilindros, retas, etc.), ou o uso de algum ‘padrão’ baseado em fotografias, como bloco construtivo. No caso da síntese de comportamentos, a metodologia típica empregada envolvia escrever um *script* (programa computacional usado para ações simples e repetidas) que determinasse unicamente a seqüência de passos e ações de um dado agente virtual. Além disso, diversos campos de pesquisa vêm surgindo dentro das várias disciplinas fundamentais (p. ex., biologia e

¹ Laboratório de Sistemas Inteligentes (LSIn), Universidade Católica de Santos (UniSantos), Programa de Mestrado em Informática. Yupanqui Julho Muñoz munoz@lsin.unisantos.br; Leandro Nunes de Castro lnunes@unisantos.br

neurociências), como, por exemplo, *neuroetologia computacional* (Cliff, 1998) e *etologia sintética* (MacLennan, 2002). Isto se deve aos novos mecanismos de investigação, incluindo aqueles da Vida Artificial, que surgiram com o objetivo de complementar e suplementar limitações das técnicas tradicionais.

A *computação natural*, linha de pesquisa surgida nas últimas décadas e que vem aproximando a computação da natureza de uma forma inter e multidisciplinar com resultados marcantes para diversas áreas da ciência, comércio e indústria, surgiu com o intuito de promover uma quebra do paradigma que antes regia a síntese computacional de fenômenos naturais (de Castro, 2006). A computação natural enfatiza conceitos até então pouco explorados neste contexto, como emergência, auto-organização e a geometria fractal da natureza. O resultado é, invariavelmente, um processo de síntese muito mais realista da natureza com reduzido custo computacional e que amplia nossa perspectiva da *vida-como-nós-a-conhecemos* para a *vida-como-ela-poderia-ser*.

A perspectiva da computação natural enfatizada neste artigo é a do uso da computação, sob um ponto de vista amplo, como ferramenta para auxílio ao entendimento de questões fundamentais da vida (natureza), como: Quais as ‘leis’ e ‘regras’ que regem o comportamento coletivo dos organismos? Quais as ‘leis’ e ‘regras’ que regem o desenvolvimento e evolução orgânica? Estas ‘leis’ podem ser abstraídas da matéria constituinte dos organismos? Qual a utilidade prática de sintetizar e entender melhor as formas e comportamentos encontrados na natureza? Até que ponto a síntese de padrões e comportamentos pode contribuir para as ciências da vida, como a biologia?

Este artigo, dividido em duas partes, contribui para a difusão da computação natural como um novo paradigma computacional que propõe respostas, parciais e incompletas, para estas questões centrais da atualidade. A primeira parte discursa sobre a Vida Artificial enfatizando dois conceitos primordiais quando o enfoque é a síntese comportamental: *emergência* e *auto-organização*. São

apresentados alguns conceitos da área relevantes à discussão abordada e dois projetos de Vida Artificial são revistos no intuito de ilustrar como ela pode contribuir para o entendimento de parte das questões levantadas acima. Além disso, são referenciadas algumas das principais tendências e problemas em aberto da área, tanto sob uma perspectiva tecnológica quanto sob uma perspectiva fundamental e filosófica da ciência. Na segunda parte, dedicada à síntese da *geometria fractal* da natureza, o conceito de dimensão fractal é apresentado pragmaticamente, com ilustrações de como se calcular a dimensão fractal para formas e objetos distintos. Alguns dos fractais pioneiros são revistos e os sistemas de Lindenmayer são apresentados como uma das ferramentas para a síntese computacional de padrões, como plantas e outras paisagens arbóreas. Técnicas correlatas, como *movimento Browniano fracionário* e *sistemas de partículas*, também são brevemente discutidas e ilustradas. As principais tendências da área e problemas em aberto concluem a segunda parte deste artigo.

2. *Vida Artificial*

A Vida Artificial (do inglês *artificial life*, ALife) pode ser entendida como o estudo de sistemas feitos pelo homem que exibem comportamentos característicos de sistemas vivos. Esta definição foi proposta por Christopher G. Langton em 1989, um dos pioneiros deste novo campo de investigação interdisciplinar. Enquanto a biologia tradicional atua analiticamente no estudo da vida baseada em cadeia de carbono (único tipo de vida conhecido), a Vida Artificial é uma nova abordagem de síntese não apenas da *vida-como-a-conhecemos* (*life-as-we-know*), mas também da *vida-como-ela-poderia-ser* (*life-as-it-could-be*) (Langton, 1989) e seu enfoque, como veremos mais explicitamente adiante, é a síntese comportamental.

A abordagem da *vida-como-ela-poderia-ser* trás a biologia ao seu princípio, que é o estudo da vida independentemente de sua composição material (Langton, 1989). A concepção da vida como um processo dinâmico se desvencilha da convenção analítica da

biologia tradicional, na qual a matéria é a base para a vida, e passa a se preocupar com características universais compartilhadas por qualquer entidade reconhecida como viva, independentemente de sua composição química. Essas características (ou propriedades) universais da vida (Farmer & Belin, 1991; Keeley, 1997) são capturadas pelos comportamentos elementares dos componentes constituintes de um organismo ou sistema vivo e elas são propriedades do todo (p. ex., sistema vivo), pois nenhuma das partes as possui independentemente. É importante reconhecer, entretanto, que a conceituação de vida através da especificação de um conjunto de características é controversa (El-Hani & Videira, 2000).

A Vida Artificial imersa nesta abordagem trás inerente a ela uma outra metodologia de modelagem de fenômenos naturais. Enquanto a biologia tradicional, a IA clássica e muitos outros campos de pesquisa utilizam, predominantemente, uma estratégia top-down para modelar sistemas (o sistema é modelado como um todo, antes de entrar em detalhes nas partes que o compõem), envolvendo um controle complicado e centralizado que toma decisões baseadas em acessos a todos os aspectos do estado global, a Vida Artificial faz uso de uma estratégia do tipo *bottom-up* (o sistema é desenvolvido detalhando os componentes e as regras locais que regem as interações entre eles). Muitos sistemas naturais exibem comportamentos autônomos complexos, parecendo estar organizados paralelamente em redes distribuídas de comunicação entre ‘agentes’ que tomam decisões capazes de afetar diretamente apenas seus estados locais. Cada decisão do agente se baseia na informação referente ao seu próprio estado local. A estratégia *bottom-up* possibilita uma modelagem em Vida Artificial que abrange as seguintes propriedades de nível superior dos organismos vivos (Boden 2001):

- *Características universais da vida*: autonomia e evolução.
- *Estilos de vida*: simbioses, parasitismo, etc.
- *Comportamentos particulares*: aglomeração, evasão, etc.
- *Processo de desenvolvimento expansivo*: diferenciação celular, etc.

- *Morfologia corpórea*: padrão de ramificações em planta, etc.

Deste modo, há diversas vantagens metodológicas no uso das estratégias sintéticas de modelagem computacional através de abordagens *bottom-up* e que podem ser mencionadas (Dean 1998; Bedau, 2003):

- Podemos alterar livremente os parâmetros que definem os padrões de eventos, as arquiteturas dos organismos, o ambiente e as leis que regem o comportamento dos objetos do ambiente construído;
- Podemos isolar e variar cada parâmetro isoladamente, associar diversas variações, combiná-las temporalmente e/ou espacialmente, e observar as conseqüências decorrentes de um, ou diversos, destes procedimentos;
- Podemos replicar todos os procedimentos, introduzir novos e subtrair antigos parâmetros;
- Podemos rever a história de interação de cada organismo com seus co-específicos, com seus predadores, com o ambiente e com os diversos eventos que o constituem e, a partir destes dados, calcular “probabilidades de encontros entre organismos”, ou prever o aparecimento de certas atividades, quando assumidas certas condições.

Todas estas características proporcionam uma maior flexibilidade e rapidez no entendimento não só de sistemas biológicos, mas também de diversos fenômenos naturais (p. ex., sociológicos, psicológicos e lingüísticos).

Em síntese, numa modelagem *bottom-up* o resultado final é um comportamento dinâmico exibido pelo modelo, como conseqüência de iterações locais entre suas partes componentes, ao simular um fenômeno natural. Este comportamento é caracterizado por duas propriedades fundamentais: *auto-organização* (Decker, 2000; Camazine et al., 2001) e *emergência* (Holland, 1998; Emmeche et al., 1997).

3. *Auto-Organização e Emergência Conceituadas*

A auto-organização é a propriedade que se refere à tendência de organização espontânea contínua, que apresenta um compor-

tamento adaptativo adquirido autonomamente, ou seja, ausente de qualquer controle externo (Wolf & Holvoet, 2004). O aspecto fundamental é entendê-la como a formação de padrões e comportamentos através de interações internas ao próprio sistema, sem intervenção direta de influências externas. Além disso, as regras específicas de interação entre os componentes dos sistemas são executadas usando apenas informações locais, sem referência ao global (Camazine *et al.*, 2001). As principais características da auto-organização são (Wolf & Holvoet, 2004):

- *Aumento na ordem*: ‘organização’ é uma parte importante do conceito e que acontece continuamente numa estrutura, seja ela espacial, temporal ou funcional. Um sistema inicialmente semi-organizado ou totalmente aleatório adquire uma ordem que promove uma função específica (comportamento). Para tanto, o sistema deve estar entre a não-existência de ordem e a ordem excessiva, no limiar entre a ordem e o caos (Shalizi, 2001; Mostefaoui *et al.*, 2003; Heyligen, 1989, 2002).
- *Autonomia*: o sistema deve se organizar espontaneamente sem que qualquer fator externo o conduza, pois um fator externo introduziria informações exógenas ao sistema continuamente. Portanto, em um sistema autônomo as decisões serão tomadas com base na sua própria organização e dinâmica interna (Shalizi, 2001; Mostefaoui *et al.*, 2003; Camazine *et al.*, 2001; Foukia & Hassas, 2003; Heyligen, 1989, 2002).
- *Robustez e Adaptabilidade*: num fenômeno auto-organizado é esperada uma reação a mudanças mantendo sua organização autônoma. Logo, um comportamento adaptativo é necessário. Em outras palavras, mudanças no ambiente podem influenciar o sistema a gerar uma nova função específica sem alterar os comportamentos característicos de suas partes constituintes (Foukia & Hassas, 2003; Mostefaoui *et al.*, 2003).
- *Dinâmica*: para uma adaptação rápida às mudanças externas o comportamento auto-organizado precisa ser dinâmico. Mudanças influenciam a organização da estrutura e, para manter

a estrutura, é necessário haver uma dinâmica que se encarregue dessas mudanças. Em outras palavras, o sistema necessita estar afastado do equilíbrio estático, isto é, ele precisa estar sensível a mudanças do ambiente, além de adaptável e capaz de reagir (Shalizi, 2001; Heyligen, 1989, 2002).

A formação de padrões ou comportamentos auto-organizados pode ser observada em muitos fenômenos naturais e sociais, como, por exemplo, em tempestades de areia, furacões, sistemas biológicos e químicos (p. ex., respostas imunológicas e neurais), construção de ninhos por insetos sociais (p. ex., abelhas, vespas, cupins e formigas), e muitos outros fenômenos (Laszlo 1987; Depew & Weber 1999; Camazine et al., 2001; de Castro, 2006).

Já a propriedade de *emergência*, ou *comportamento emergente*, é tipicamente entendida como um processo ou comportamento que surge ao nível macro do sistema, mas que se mostra irreduzível aos comportamentos e às propriedades de suas partes (Wolf & Holvoet, 2004). Portanto, o termo *emergência* é frequentemente relacionado à idéia de *criação de novas propriedades* (Morgan, 1923). Isso se deve a imprevisibilidade do comportamento emergente global de um sistema a partir de suas partes. Em simulações computacionais, por exemplo, isso se dá quando o programador, que tem acesso ao algoritmo subjacente à simulação, não consegue antecipar propriedades globais que os sistemas simulados apresentarão. Neste caso, estas propriedades são denominadas emergentes. As propriedades emergentes podem ser entendidas, em um sentido técnico, como uma certa classe de propriedades de nível superior (macro ou global) que se relacionam de uma certa maneira com o nível inferior (micro ou individual) em um sistema. Estas propriedades apresentadas no nível macro são, contudo, oriundas do comportamento agregado das partes no nível micro e devem ser explicadas a partir delas. Algumas das características importantes da emergência são (Wolf & Holvoet, 2004):

- *Efeito Micro-Macro*: refere-se às propriedades, comportamentos, estruturas ou padrões, que acontecem no nível

macro, oriundos das interações no nível micro. O comportamento global (emergente) é o resultado destas interações entre as entidades individuais do sistema (Holland, 1998; Odell, 2002; Crutchfield, 1994a,b).

- *Novidade*: os componentes do nível micro não explicitam a representação do comportamento global, em outras palavras, não podem ser diretamente descritos nem preditos investigando-se individualmente os componentes micro. A novidade, ou ‘nova propriedade’, surge porque o comportamento global não é compreendido e nem esperado pelo comportamento das partes (Holland, 1998; Crutchfield, 1994b).
- *Coerência*: refere-se a uma correlação compatível das partes. A emergência aparece como o todo integrado que tende a manter algum sentido de identidade, mas para atingir esta coerência no todo deve existir uma correlação entre os componentes (Holland, 1998; Odell, 2002).
- *Interação das Partes*: interações entre as partes são necessárias, pois sem elas o comportamento do nível macro não emerge (Holland, 1998; Odell, 2002).
- *Dinâmica*: novos tipos de comportamento (propriedades emergentes) surgem no sistema em certos instantes de tempo (Holland, 1998; Crutchfield, 1994a; Odell, 2002).
- *Controle Descentralizado*: esta é uma característica diretamente conseqüente da imprevisibilidade necessária à emergência. Um componente ou subconjunto de componentes não é suficiente para definir completamente o comportamento global do sistema e o todo não está sujeito a um controle central (Heyligen, 2002; Odell, 2002).
- *Relação Bidirecional*: a relação entre os níveis micro e macro é bidirecional num sistema emergente. Do nível micro para o nível macro e das interações entres partes surge um comportamento emergente global. Na outra direção, o comportamento emergente influi nas partes. Por exemplo, no caso da formação de trilhas de feromônio pelas formigas,

a trilha emergente influencia a movimentação das formigas (nível micro), pois elas são atraídas pelas trilhas de feromônio (Gordon, 1999; Odell, 2002).

- *Robustez e Flexibilidade*: dada à descentralização do controle, uma simples entidade não tem representatividade no comportamento global, implicando que uma falha em um determinado ponto ou componente não afeta o todo. Um dano ou erro que venha a ocorrer em algumas das partes do sistema poderá causar uma perda de desempenho, mas não uma perda total de funcionalidade. Esta flexibilidade permite que os componentes sejam substituídos e, ainda assim, o sistema mantenha sua estrutura emergente. Por exemplo, no vôo em bando dos pássaros, os pássaros podem ser substituídos por outros pássaros, mantendo o mesmo fenômeno (Heyligen, 2002; Odell, 2002).

Estes dois conceitos, auto-organização e emergência, são compreendidos e empregados algumas vezes de maneira confusa e errônea por estarem freqüentemente combinados em sistemas complexos adaptativos (Holland, 1998; Wolf & Holvoet, 2004). A principal similaridade entre eles é que ambos envolvem sistemas dinâmicos, mas cada um deles enfatiza aspectos diferentes do comportamento de um sistema e isto reflete a caracterização de cada um. Na auto-organização há uma robustez caracterizada pela adaptabilidade, propriedade importante e essencial de um sistema auto-organizado, que é adquirida autonomamente e em constante aumento da ordem. Já na emergência há uma robustez caracterizada pela flexibilidade, essencial para a existência de um comportamento global novo. Para melhor entendimento destes conceitos centrais em Vida Artificial, descreveremos a seguir um modelo clássico da área, denominado *Boids* (Reynolds, 1987).

4. Auto-Organização e Emergência Ilustradas

C. Reynolds (1987) desenvolveu um modelo comportamental para um conjunto de agentes virtuais, denominados *Boids*, atualmente

bastante utilizado em diversos contextos, em particular na indústria cinematográfica (p. ex., nos filmes *Batman Returns*, *O Rei Leão* e *O Corcunda de Notre Dame*). Os *boids* foram inspirados no comportamento coletivo de um bando de pássaros, onde não há um líder que conduz a formação convergente do bando, mas cada indivíduo (pássaro) toma uma ação a partir de seu estado interno e de sua percepção local do ambiente (espaço ao redor). Estes agentes são bastante simples e sem nenhuma capacidade cognitiva superior ('inteligência'). Suas ações e percepções se restringem a três regras comportamentais que promovem a simulação do bando (Reynolds, 1987):

- *Evasão de colisão*: cada agente evita colisão com os agentes próximos;
- *Ajuste de velocidade*: cada agente ajusta a sua velocidade com as dos agentes próximos;
- *Centralização do bando*: cada agente mantém-se próximo do centro de massa de um conjunto de agentes na sua vizinhança, como ilustrado na Figura 1.

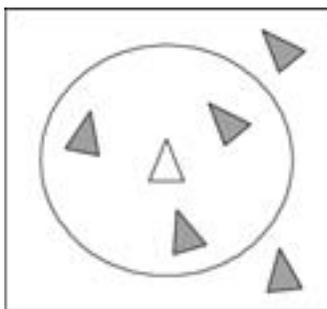


Figura 1: Ilustração de um *boid* e sua vizinhança.

Para ilustrar os fenômenos de auto-organização e emergência descritos acima observe os resultados apresentados na Figura 2. Estes resultados foram gerados *on-line* utilizando o Laboratório Virtual em Computação Natural (LVCoN). O leitor interessado em investigar estes fenômenos pode acessar o LVCoN no endereço: <http://lsin.unisantos.br/lvcon>. Na Figura 2(a), inicialmente foram inseridos no ambiente alguns *boids* próximos entre si e cujas velocidades iniciais possuem sentidos diferentes, mas não muito discre-

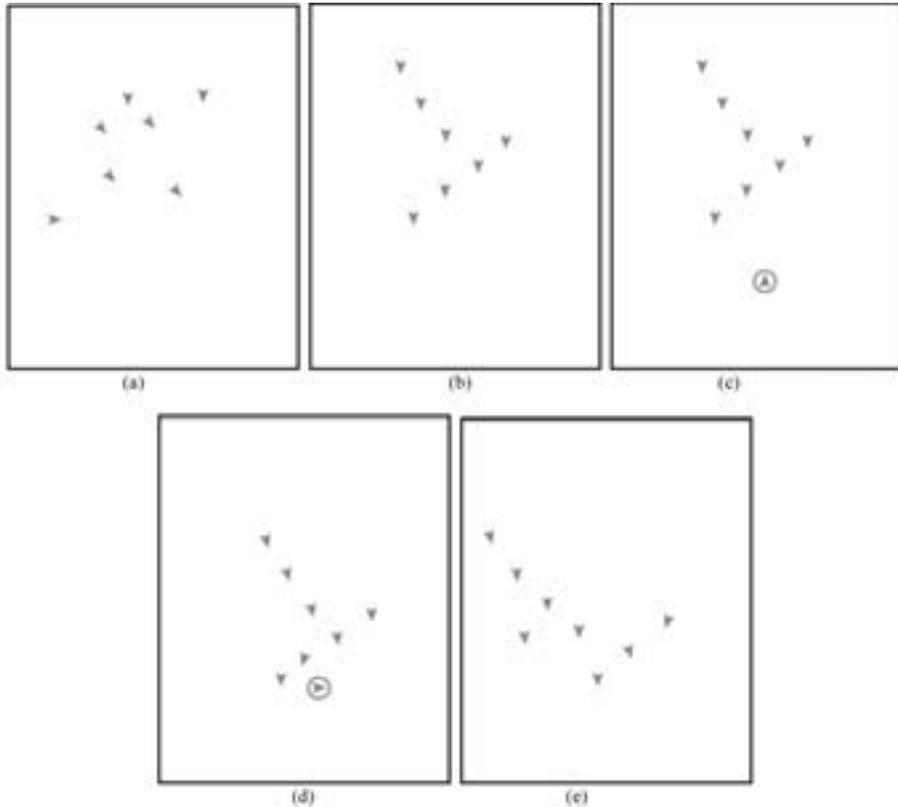


Figura 2: Uma simulação on-line dos boids realizada com o Laboratório Virtual em Computação Natural (LVCoN - <http://lsin.unisantos.br/lvcon/>). (a) Inserção de alguns boids no ambiente. (b) Após algumas iterações uma formação de bando emerge e se mantém em equilíbrio dinâmico. (c) Um novo *boïd* (circulado) é inserido no ambiente seguindo, inicialmente, de encontro ao bando. (d) À medida em que o novo *boïd* se aproxima do bando ele vai suavemente mudando o seu sentido e conseqüentemente se unido ao bando. (e) Após mais algumas iterações uma nova formação em bando emerge com a inclusão do novo *boïd* e o bando se auto-organiza de forma a acomodar o novo *boïd*.

pantes. Na Figura 2(b), passadas poucas iterações, uma formação em bando bastante familiar emerge e se mantém dinamicamente estável por um tempo até que um novo *boïd* seja inserido (ver Figura 2(c)) com velocidade e direção opostas à do bando. Na Figura 2(d) e (e), influenciado pelo bando, o novo *boïd* gradativamente se une aos outros emergindo uma nova formação em bando. Assim, o comportamento em bando torna-se um resultado natural da capacidade de auto-organização dos *boïds*, que é guiada pelas regras comportamentais individuais de cada *boïd*.

Não entraremos em detalhes sobre as regras comportamentais empregadas, pois o foco aqui é perceber a presença dos dois conceitos neste exemplo. O comportamento auto-organizado deste sistema pôde ser observado pelos seguintes aspectos: *i*) autonomia dos agentes: nada além das três regras internas regem suas ações; e *ii*) aumento na ordem: os agentes encontram-se inicialmente espalhados aleatoriamente pelo ambiente, mas com o passar do tempo convergiram para uma formação dinâmica em bando. Se colocarmos os *boïds* em um ambiente com obstáculos, o bando se adaptará as condições adversas encontradas (p. ex., divisão do bando para contornar um obstáculo). Um comportamento emergente também pôde ser observado, por exemplo, pelo comportamento global de formação do bando, que emergiu através das interações locais entre os *boïds* (a eliminação ou inserção de alguns *boïds* não compromete o comportamento global); e pela novidade, uma vez que não é possível prever quando e como será a formação do bando durante a simulação.

4.1. Algumas Implicações

A partir da abordagem *bottom-up* predominante na modelagem em Vida Artificial e das principais propriedades extraídas destes modelos, a *auto-organização* e a *emergência* deixam bem claro o enfoque da Vida Artificial na síntese comportamental. No exemplo dos *Boïds* ilustrado na Figura 2, a relevância está no fato do comportamento de locomoção em grupo dos agentes virtuais ser muito semelhante ao de uma revoada de pássaros: os agentes virtuais (*boïds*) em si são meramente imputados como pássaros. Citando Lang-

ton (1989; p. 33), “Se os componentes são implementados corretamente, os processos que eles apóiam são genuínos – cada parte tão genuína quanto o processo natural que ela imita”.

A afirmação de Langton apresentada acima trás uma série de questionamentos e, baseado neles, C. Emmeche (1992) promove algumas discussões importantes. O fato de modelar a lógica de sistemas vivos não implica necessariamente que este modelo represente a real lógica dos sistemas vivos, pois os modelos são construídos através de dados derivados de teorias e observações. Um modelo científico, entretanto, não representa a natureza diretamente, mas sim uma teoria, não necessariamente completa. Além disso, a lógica da vida possui muitos níveis que transcendem tempo e espaço, indo do molecular ao ecológico e às relações evolutivas. Estes níveis (p. ex., físico-químico) são descritos por diferentes conjuntos de teorias, logo suas funções podem ser similares (entre o modelo e o organismo) em algum nível, mas a lógica inerente aos processos num nível físico-químico e, provavelmente, em níveis mais altos, é diferente (Emmeche, 1992). Ainda seguindo esta linha de argumentação, Emmeche questiona a filosófica premissa base da *Vida Artificial Forte* (Rennard, 2004), cujos detalhes serão discutidos na próxima seção: *independência entre forma e matéria*.

Emmeche (1992) ilustra a interdependência entre forma e matéria com um exemplo da bactéria *Escherichia coli* (*E.coli.*). A síntese do aminoácido *tryptophan* ocorre em três etapas e cada uma é catalisada por uma enzima específica. Para elas acontecerem se faz necessária uma rede complexa envolvendo outras enzimas e proteínas, além das especificações de suas seqüências de aminoácidos e da unidade de controle (*tryptophan operon*) no DNA. Todas as transcrições e traduções consomem bastante energia, logo, uma regulação destes processos em resposta as necessidades das enzimas é bastante vantajosa e importante para a célula. Foi descoberto na *E.coli.* que este sofisticado sistema para controle da transcrição da *tryptophan operon* envolve tanto a função da proteína codificada, quanto a natureza física da cadeia de RNA (ver Landick & Yanofsky, 1987).

Neste caso, apresentado de forma bastante resumida, por mais que um modelo em Vida Artificial possa ser formalmente similar ao *E.coli.*, sob uma perspectiva operacional, ele não terá similaridade física ou causal com o sistema real. É frequentemente usado o modelo de auto-reprodução de Von Neumann (1966) fazendo analogias aos seus componentes como sendo ribossomos, polimerases, etc. Porém, esta analogia é incompleta, uma vez que as funções biológicas dos componentes não são separadas no sistema real e dependem da estrutura física específica dos constituintes. A informação dinâmica armazenada na estrutura tri-dimensional do DNA e o resto dos componentes não é representada num modelo formal de auto-reprodução. Assim, a tentativa de realizar esta descrição formal em um outro meio, que não a cadeia de carbono, será difícil se a implementação da descrição formal não levar em conta a interdependência da forma e matéria no nível celular. O que será realizado é a teoria formal e não a duplicação original de um sistema vivo (Emmeche, 1992). Além disso, não estaríamos fazendo uma interpretação intrínseca ao sistema formal e sim imputando à saída simbólica um significado (p. ex., *boids* com pássaros): “a semântica não é intrínseca à sintaxe” (ibid.; p. 472).

Outro importante aspecto discutido por Emmeche é sobre a generalização do conceito de *vida*. Ela recai no mesmo problema da Inteligência Artificial clássica e do funcionalismo na ciência cognitiva, que por mais que generalize o conceito de cognição, incluindo tanto máquinas como pessoas pensantes, não responderá à questão da real natureza do pensar. Assim, a generalização do conceito de Vida, incluindo desde sistemas artificiais com comportamentos semelhantes aos vivos até organismos reais, não revelará as restrições específicas da vida que evoluiu ou poderia evoluir na Terra, além de não ser capaz de nos mostrar muitas novidades acerca da *vida-como-ela-poderia-ser*. “A característica processual da vida será sempre um fenômeno de alto nível restrito pelas propriedades específicas de baixo nível. O fenômeno geral da emergência é provavelmente uma característica universal da vida, mas também se deve

observar o conjunto de possíveis substratos materiais que possam dar suporte à emergência” (Emmeche, 1992; p. 472).

Apesar das argumentações de Emmeche um tanto desanimadoras sobre Vida Artificial e outras abordagens sintéticas, ele não aponta para a inviabilidade da computação baseada na “real” Vida Artificial. Para isso, é importante a presença de filósofos e biólogos participando ativamente nesta recente linha de pesquisa, que é a vida artificial, pois há muitas questões fundamentais comuns às áreas em aberto, uma vez que o objetivo em si é o mesmo para todos: a compreensão do fenômeno chamado *vida*.

4.2. Um Exemplo de Contribuição para a Biologia

As contribuições que a Vida Artificial pode oferecer à teoria biológica são, citando Emmeche (1992; p. 473): “*i*) simulação do desenvolvimento e evolução do fenômeno da vida na Terra; *ii*) simulação da vida como ela poderia evoluir em um ambiente não terrestre, dados alguns conjuntos de condições de contorno realísticas; *iii*) promoção de novos conceitos e modelos do fenômeno *emergência* pertencente ao grupo geral dos sistemas complexos do qual os sistemas biológicos (sob particular tipos de descrição) são um subgrupo”.

Para ilustrar de que forma a Vida Artificial pode contribuir para a biologia, discutiremos brevemente um trabalho publicado tanto em um proceedings da conferência *Artificial Life*, quanto nos periódicos *BioSystems* e *Journal of Theoretical Biology*. Trata-se do modelo desenvolvido para simular o comportamento de construção de ninhos de vespas (Bonabeau *et al.*, 1994; Theraulaz & Bonabeau, 1995; Bonabeau *et al.*, 2000). Na natureza podemos observar os ninhos de vespas (Figura 3) como estruturas sofisticadas resul-

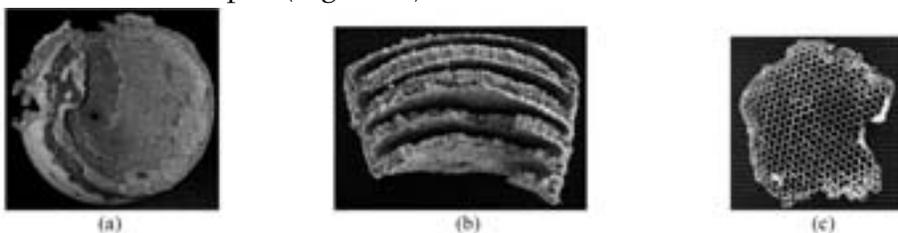


Figura 3: Fotos de um ninho de vespa. (a) Visão inferior. (b) Corte transversal (observe as camadas de pentes). (c) Pente (composto por células hexagonais). (Fonte: L. N. de Castro, 2006).

tantes de três características básicas que as compõem: *i*) os agrupamentos isolados de células (unidades do ninho - cada célula provê o ambiente para o desenvolvimento de uma cria) organizados em pentes (*combs*); *ii*) a separação entre os pentes por meio de um *pedículo*; e *iii*) a proteção do pente por um *envelope*. Outro detalhe interessante citado por L. N. de Castro (2006; p. 415) é o fato de que “O vespeiro tem uma arquitetura modular, que é resultado de uma atividade de construção cíclica imposta pela estrutura do ninho por ela mesma, e não resultante do ciclo de construção interno”. Estas características refletem pontos importantes para sobrevivência das vespas: *i*) é menos custoso produzir células adjacentes em contato entre si, compartilhando paredes comuns e organizadas dentro de um pente; *ii*) o pedículo tem um papel importante na proteção do ninho contra ataques de alguns tipos de predadores (p. ex., formigas) reduzindo área de ação deles; e *iii*) o envelope, além de ter também o papel importante na proteção contra alguns predadores, funciona como um elemento termo-regulador.

Para modelar o processo de construção de ninhos de abelhas, Bonabeau *et al.* (1994, 2000) e Theraulaz & Bonabeau (1995) definiram um grupo de algoritmos distribuídos, chamado *lattice swarms*, que permite que um simples agente do enxame (*swarm*) construa estruturas parecidas com ninhos. Uma versão *beta* do algoritmo pode ser encontrada no sítio: <http://www-iasc.enst-bretagne.fr/PROJECTS/SWARM/nest.html>. O fundamento básico deste modelo é bastante simples: cada agente interage localmente depositando um bloco (célula) de acordo com o estado local do ambiente, sem que haja qualquer comunicação entre os agentes, representação global da arquitetura em construção ou plano pré-definido. Os agentes usam números limitados de blocos de diferentes tipos e tamanhos, depositando-os de acordo com um conjunto de regras específicas que delimita os tipos de blocos para aquele determinado local, isto é, varia de acordo com a configuração atual dos blocos vizinhos no local. Esses conjuntos de regras variam de acordo com a estrutura que é construída. Os resultados deste modelo reprodu-

zem características do comportamento de construção similares aos observados na natureza (Figura 4), como: o pedicelo é inicialmente construído para posteriormente às células serem inseridas gradativamente a sua volta dando um formato de pente (*comb*) e cada pente é terminado antes de começar um novo.

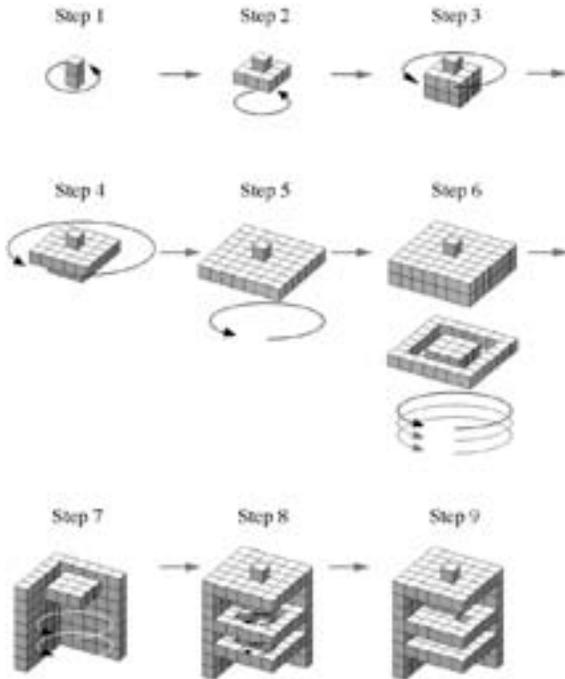


Figura 4: Passos sucessivos no processo de construção de ninhos pelo algoritmo *lattice swarms*. (“Reproduzida com permissão de Bonabeau et al., 2000 [Figura 3], Copyright Elsevier”).

O modelo *lattice swarm* de construção de ninho de vespas foi desenvolvido principalmente por biólogos com o objetivo de entender os processos envolvidos no comportamento de construção de ninhos pelos insetos sociais, através de agentes simples executando algoritmos básicos. Os resultados mostraram que o algoritmo *lattice swarm* é um bom exemplo de algoritmo comportamental capaz de produzir arquiteturas coerentes e biologicamente plausíveis. Este estudo evidencia padrões e comportamentos coerentes globais dinamicamente complexos e emergentes de interações locais entre agentes simples e o ambiente, assim como na sociedade de insetos em seu habitat natural.

Em abordagens como as deste exemplo, na qual existe um modelo pertencente a uma classe de fenômenos observados na natureza, os parâmetros do modelo devem ter alguma significância biológica, seja assumida ou explícita. Uma vez que os parâmetros relevantes são descobertos, eles geralmente fazem com que o modelo explique as observações empíricas, isto é, que o modelo permita fazer previsões. Por exemplo, se o sistema biológico é perturbado, a correspondente perturbação no modelo sintético deve conduzi-lo a uma resposta ou reação semelhante ao sistema real. Outro ponto relevante é o intervalo de valores, pois se os parâmetros possuírem um grupo de valores inadequados, comportamentos não biológicos podem surgir (fato às vezes compreendido como a *vida-como-ela-poderia-ser*). Por exemplo, este modelo também permitiu aos pesquisadores concluir que é possível configurar o algoritmo para que formas desestruturadas que não são encontradas na natureza sejam geradas (Bonabeau *et al.*, 2000), como ilustrado na Figura 5.

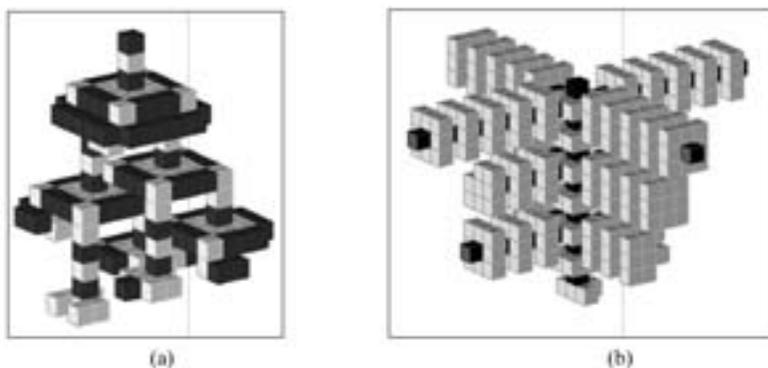


Figura 5: Diferentes estruturas que podem ser geradas através de variação paramétrica da ferramenta *lattice swarm*.

Esta possibilidade de extrapolar pode tanto servir para outras disciplinas (p. ex., engenharia) como para a própria biologia. Alguns grupos de restrições certamente guiam para um conjunto particular de parâmetros, permitindo que o modelo reproduza os comportamentos observados experimentalmente. Com base nisso, Bonabeau & Theraulaz (1994; p. 318) levantam duas questões

pertinentes: “[...] Estes valores de parâmetros são inevitáveis? É possível que outras restrições (ambientais) poderiam ter evoluído outros valores para os parâmetros?”. Como exemplo dos estudos e resultados promovidos pelo modelo *lattice swarm*, a abordagem *bottom-up* da Vida Artificial permite um entendimento da natureza dos parâmetros, o que é inviável ao tentar procurar por restrições prováveis que levem a um comportamento particular (Bonabeau & Theraulaz, 1994).

5. Tendências e Problemas em Aberto

Apesar do enfoque na síntese de fenômenos naturais apresentada neste artigo, a Vida Artificial possui diversas outras abordagens e aplicações. Os modelos desenvolvidos podem ser caracterizados como *sistemas complexos adaptativos* (Emmeche, 1997; Science, 1999; Goldenfeld & Kadanoff, 1999), comumente encontrados em outros sistemas não necessariamente vivos (Bedau, 2003; de Castro, 2006). Além disso, a extrapolação ou a simples inspiração da *vida-como-a-conhecemos* nos propicia retornos muito relevantes a diversas outras disciplinas, como também diretamente ao nosso cotidiano. Esta seção ilustra brevemente algumas das principais aplicações da Vida Artificial na atualidade e discute os diversos problemas em aberto da área.

5.1. Principais Aplicações

Dentre as principais tendências da pesquisa em Vida Artificial, destaca-se sua aplicação a jogos e artes, estudos sobre a evolução e realização da vida, estudos sobre a evolução da linguagem e aplicações em robótica.

Jogos e Artes

A variedade de padrões de estruturas e comportamentos gerados por simulações é imensa, principalmente quando o objetivo é transcender ao máximo a criatividade sem se preocupar com a coerência e fundamentação na *vida-como-a-conhecemos*. A abordagem da *vida-*

como-ela-poderia-ser é intensamente explorada nas artes e nos jogos, que exaltam, dentre outros, a fantasia. Graças a este potencial, atualmente existem eventos importantes abordando técnicas de Vida Artificial em Artes como a série de eventos em computação evolutiva - EVO (<http://evostar.org>) e a *competição internacional sobre arte e vida artificial* - VIDA (<http://www.telefonica.es/vida>). Além disso, uma característica bastante interessante que é investigada combinando sistemas evolutivos e Vida Artificial é a *evolução aberta* (*open-ended evolution*), característica esta de desenvolver abertamente (sem predefinir) um organismo artificial complexo a partir de um proto-organismo artificial (Maley, 1999). Esta característica é atualmente bastante explorada, porém de maneira restrita (geralmente abordando aspectos comportamentais e com leque de possibilidades evolutivas limitadas para um ou mais determinados fins), em jogos, principalmente em jogos de estratégia e CRPG (*Computer Role-Playing Game*), onde características como finais múltiplos, liberdade de decisão, resolução de objetivos e interação com o ambiente, são fundamentais para os jogos deste gênero. Exemplos destes tipos de jogos são o *SimCity 4* (Maxis, 2003), *Age of Empires III* (Ensemble Studios, 2005), *Civilization IV* (Firaxis Games, 2005) e *Spore* (TBA & Maxis, 2007).

Evolução da Vida

Além de sintetizar sistemas vivos, outro campo de pesquisa da ALife é a evolução dos sistemas vivos. Evolucionistas da biologia, filosofia, dentre outras áreas, vêm utilizando as ferramentas providas pela Vida Artificial na tentativa de compreender aspectos da evolução, como o surgimento da vida a partir de algo não-vivo ou “proto-vivo”, além das diversidades e complexidades dos sistemas vivos emergidos deste misterioso fenômeno que é a vida. Os modelos desenvolvidos nesta linha de pesquisa procuram alcançar propriedades de evolução aberta (*open-ended evolution*) e co-evolução (Maley, 1999; Ray, 1994; Ray & Hart, 1998; Conrad & Pattee, 1970; Adami & Brown, 1994; Fogel, 1998; Sims 1994; O’Neill 2003; Ofria & Wilke, 2004; Wilke & Adami, 2002).

Realização de Vida

Como mencionado anteriormente, a Vida Artificial definida por Langton (1989) prima por uma abordagem mais ampla sobre a vida, a *vida-como-ela-poderia-ser*. Assim, se propõe a Vida Artificial Forte (*Strong ALife*) como uma frente de investigação focada na *realização* de vida independente do meio (Rennard, 2004). Na seção seguinte apresentaremos alguns desafios da Vida Artificial que são pertinentes às possibilidades de alcançar a realização da *vida-como-ela-poderia-ser*.

Evolução da Linguagem

A linguagem é entendida como um dos sistemas naturais mais complexos (Kirby, 2002), pois “resulta da interação de três sistemas complexos adaptativos que operam em diferentes escalas de tempo: aprendizado da linguagem na escala de tempo ontogenética, evolução da linguagem na escala de tempo histórica, e a evolução dos cérebros dos usuários de língua na escala de tempo filogenética” (Bedau, 2003; p. 510). A abordagem metodológica da Vida Artificial vem progressivamente sendo utilizada para explicar muitos aspectos da linguagem, como fonética e fonologia, aquisição de linguagem, co-evolução das linguagens e emergência das estruturas complexas das linguagens (Kirby, 2002; Christiansen & Kirby, 2003).

Robótica

Na mesma linha da Inteligência Artificial Clássica, aliada à robótica com a finalidade de emular a cognição de um ser vivo conhecido, a Vida Artificial também se propõe a fazer o mesmo, mas não se limitando apenas ao meio virtual. Como exemplo temos o caso do robô cachorro da Sony, chamado AIBO (*Artificial Intelligence Robot*, e significa ‘companheiro’ em japonês, ver <http://www.sony.net/Products/aibo/>), que tenta, através de seus diversos sensores, atuadores e mecanismos adaptativos, gerar comportamentos complexos e emergentes similares aos que conhecemos (de Castro, 2006). Também no campo da Robótica Evolutiva (Nolfi & Floreano, 2000),

a abordagem de Vida Artificial é aplicada através de algoritmos evolutivos, p. ex., *algoritmos genéticos* (Holland, 1975), e sistemas imunológicos artificiais (de Castro & Timmis, 2002) a problemas de navegação autônoma de grupos de robôs (Cazangi *et al.*, 2006), dentre outros casos de comportamentos principalmente co-evolutivos (Nolfi & Floreano, 2000, 2002; Taylor & Massey, 2001).

Outra linha de pesquisa em robótica é a Inteligência de Enxame (*Swarm Intelligence*) (Kube *et al.*, 2004). Assim como diversas técnicas (p. ex., Computação Evolutiva, ver Bentley & Corne, 2002, Sistemas Imunológicos Artificiais e Rede Neurais Artificiais, ver Haykin, 1999) vêm sendo desenvolvidas para resolver problemas inspirando-se em mecanismos naturais que comumente resolvem problemas similares, a Inteligência de Enxame (Beni & Wang, 1989) busca inspiração no comportamento coletivo das sociedades de insetos (p. ex., cooperação entre as formigas para carregar uma presa muito grande) com o propósito inicial de desenvolver comportamentos ‘inteligentes’, isto é, capazes de resolver certos problemas autonomamente, através de um sistema composto por simples agentes (robôs) trabalhando coletivamente (Kube & Zhang, 1992; 1994; Kube *et al.*, 2004). Atualmente a Inteligência de Enxame vai além do escopo da robótica (Bonabeau *et al.*, 1999; Dorigo & Stützle, 2004; Kennedy *et al.*, 2001), mas sem perder a sua inspiração básica.

5.2. Problemas em Aberto

Assim como a matemática possui um conjunto de problemas em aberto, a Vida Artificial, apesar de ser uma linha de pesquisa recente, também possui uma série de questões em aberto devido, principalmente, à interdisciplinaridade e à motivação inicial em investigar a vida no contexto da *vida-como-ela-poderia-ser* (Bedau *et al.*, 2000). Como visto anteriormente, o escopo e a complexidade consideradas pela Vida Artificial estão imersas numa série de elementos básicos cujos conceitos e entendimento estão em aberto, como, por exemplo, vida, emergência e evolução dos sistemas vivos. Assim, focados no contexto mais fundamental e

teórico e não levando em consideração os desafios em abordagens aplicadas da Vida Artificial como jogos, robótica, artes, etc., Bedau *et al.* (2000) apresentam alguns desafios da área, dividindo-os em três principais categorias:

- Como a vida surge do inanimado?
 1. Gerar um proto-organismo molecular *in vitro*.
 2. Executar a transição para vida em um sistema químico artificial *in silico*.
 3. Determinar se fundamentalmente novas organizações vivas podem existir.
 4. Simular todo o ciclo de vida de um organismo unicelular.
 5. Explicar como as regras e símbolos são gerados a partir das dinâmicas físicas em sistemas vivos.
- Quais os potenciais e quais os limites dos sistemas vivos?
 6. Determinar o que é inevitável na evolução aberta (open-ended evolution) da vida.
 7. Determinar as condições mínimas para transições evolutivas de uma resposta específica para uma resposta genérica dos sistemas.
 8. Criar uma estrutura formal (framework) para a sintetização de hierarquias dinâmicas em todas as escalas.
 9. Determinar a capacidade de se prever conseqüências evolutivas de manipulação de organismos e ecossistemas.
 10. Desenvolver uma teoria de processo de informação, fluxo de informação e geração de informação para os sistemas desenvolvidos.
- Como a vida está relacionada com mente, máquinas e cultura?
 11. Demonstrar a emergência da inteligência e da mente em sistemas vivos artificiais.
 12. Avaliar a influência das máquinas na próxima grande transição evolutiva da vida.
 13. Prover um modelo quantitativo de inter-relação entre cultura e evolução biológica.
 14. Estabelecer princípios éticos para a Vida Artificial.

Algumas questões fundamentais, como a natureza da vida, não foram listadas, pois a resposta de qualquer um dos problemas acima implica necessariamente em respondê-las, além de que novos desafios podem ser adicionados. Os desafios apresentados se destacam por quais vias interdisciplinares a Vida Artificial trafega e pela necessidade inevitável da cooperação e colaboração interdisciplinar no seu progresso. Todas estas investigações propiciam um aperfeiçoamento no uso de novas tecnologias para estender e criar novas formas de vida, incluindo drogas, materiais protéticos, Internet, hardware capaz de se desenvolver e robôs capazes de se reproduzirem (Bedau *et al.*, 2000).

6. *Discussão*

Neste artigo, a Vida Artificial foi apresentada como uma abordagem sintética (virtual) para o estudo de comportamentos, sistemas e organismos. Apesar da Vida Artificial ter adquirido identidade como linha de pesquisa apenas ao final da década de 1980 em decorrência de uma série de workshops organizados pelo Instituto Santa Fé, os primeiros trabalhos em ALife que seguem a filosofia discutida aqui podem ser vistos como aqueles desenvolvidos por Von Neumann em suas tentativas de criar máquinas auto-reprodutivas (Von Neumann, 1966).

Neste artigo, duas propriedades essenciais vinculadas à Vida Artificial com ênfase na síntese comportamental foram conceituadas e exemplificadas: *emergência* e *auto-organização*. Um comportamento emergente é aquele que surge em um nível global do sistema, mas que se mostra irreduzível aos comportamentos e às propriedades de suas partes. A auto-organização, por sua vez, pode ser entendida como a tendência de organização espontânea contínua e autônoma de um sistema. Comportamentos emergentes e a presença de auto-organização são constantes em fenômenos da natureza como, por exemplo, revoadas de pássaros, respostas imunológicas, enxames de formigas em busca de alimentos e outros. Dois projetos simples de Vida Artificial – *i*) simulação de comportamentos coletivos de

pássaros, e *ii*) de construção de ninhos (colméias) por vespas – foram empregados aqui para ilustrar emergência e auto-organização, assim como para discutir algumas implicações e contribuições da Vida Artificial para a biologia.

Dentre as principais aplicações da Vida Artificial, enfocamos aqui as mais recentes e que apresentam bases tecnológicas e filosóficas diversas, como jogos virtuais e estudos sobre a evolução da vida e linguagem. A discussão é concluída listando-se alguns dos principais problemas em aberto da área, deixando assim o leitor com diversas perspectivas não apenas sobre o que vem sendo desenvolvido, mas também sobre o que ainda pode ser feito em Vida Artificial nos próximos anos. A segunda parte deste trabalho enfatiza a *geometria fractal* como ferramenta para a síntese de padrões naturais, como nuvens, plantas, fogo, etc.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à Fapesp pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- ADAMI, C. & Brown, C. T. Evolutionary learning in the 2D artificial life system ‘Avida’. In: Brooks, R. & Maes, P. (Org.), *Artificial Life IV*, The MIT Press, pp. 377-381, 1994.
- BEDAU, M. Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), pp. 505-512, 2003.
- BEDAU, M. A., McCaskill, J. S., Packard, N. H., Rasmussen, S., Adami, C., Green, D. G., Ikegami, T., Kaneko, K. & Ray, T. S. Open problems in artificial life. *Artificial Life VI*, pp. 363–376, 2000.
- BENI, G. & Wang, J. Swarm Intelligence. *Proc. of the 7th Annual Meeting of the Robotics Society of Japan*, pp. 425–428, 1989.
- BENTLEY, P. J. & Corne, D. W. *Creative Evolutionary Systems*. Morgan Kaufmann, 2002.
- BODEN, M. A. Artificial Life. In: Robert A. Wilson and Frank C. Keil (Org.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books, pp. 37-29, 2001.

- BONABEAU, E. W. & Theraulaz, G. Why Do We Need Artificial Life? *Artificial Life*, 1(3), MIT Press, pp. 303-325, 1994.
- BONABEAU, E., Guérin, S., Snyers, D., Kuntz, P. and Theraulaz, G. Three-Dimensional Architectures Grown by Simple ‘Stigmergic’ Agents. *BioSystems*, 56(2000), pp. 13–32, 2000.
- BONABEAU, E., Theraulaz, G., Arpin, E. & Sardet, E. The Building Behavior of Lattice Swarms. In R. A. Brooks and P. Maes (Org.), *Artificial Life IV*, pp. 307–312, 1994.
- BONABEAU, E., Dorigo, M. and Théraulaz, G. *Swarm Intelligence from Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999.
- CAMAZINE, S., Deneuborg, J., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraulaz, G. & Bonabeau, E. *Self-organization in Biological Systems*. Princeton University Press, 2001.
- CAZANGI, R. R., Von Zuben, F. J. & Figueiredo, M. F. Stigmergic Autonomous Navigation in Collective Robotics. In: A. Abraham, C. Grosan & V. Ramos (Org.), *Stigmergic Optimization*, Berlin: Springer Verlag, 2006, pp. 25-64.
- CHRISTIANSEN, M. & Kirby, S. Language and evolution: consensus and controversies. *Trends in Cognitive Science*, 7(7), pp. 300–307, 2003.
- CLIFF D. Computational Neuroethology. In Arbib, M. (Org.) *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. MIT Press: Cambridge, Mass, 1998, pp. 626-630.
- CONRAD, M. & Pattee, H. H. Evolution experiments with an artificial ecosystem. *Journal of Theoretical Biology* 28, pp. 393-409, 1970.
- CRUTCHFIELD, J. The calculi of emergence: Computation, dynamics, and induction. *Physica D*, 75, pp. 11-54, 1994a.
- CRUTCHFIELD, J. Is anything ever new? Considering emergence. In G. Cowan, D. Pines & D. Melzner (Org.): *Complexity: Metaphors, Models, and Reality*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, XIX, Addison-Wesley, Reading, 1994b, pp. 479-497.
- DE CASTRO, L. N. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, and Applications*. Chapman & Hall/CRC, 2006.
- DE CASTRO, L. N. & Timmis, J. I. *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*, Springer-Verlag: London, 2002.

- DEAN, J. Animats and what they can tell us. *TRENDS in Cognitive Science*, 2 (2), pp. 60-67, 1998.
- DECKER, E. H. Self-Organizing Systems: A Tutorial in Complexity. *Vivak: A Quarterly in Artificial Intelligence*, 13(1), pp. 14–25, 2000.
- DEPEW, D. & B. Weber. Self-Organization. In: Robert A. Wilson and Frank C. Keil (Org.) *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books, 1999, pp. 737-739.
- DORIGO, M. & Stützle, T. *Ant Colony Optimization*, MIT Press, 2004.
- EL-HANI, C. N. & Videira, A. A. P. (Orgs.) *O que é vida? Para entender a biologia do século XXI*, Rio de Janeiro, Faperj/Relume Dumará, 2000.
- EMMECHE, C. Life as an abstract phenomenon: is Artificial Life possible? In: Francisco J. Varela & Paul Bourguine (Orgs.), *Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. The MIT Press, Cambridge, Mass, 1992, pp. 466-474.
- EMMECHE, C. Aspects of Complexity in Life and Science. *Philosophica*, 59(1), pp. 41–68, 1997.
- EMMECHE, C., Koppe, S. & Stjernfelt, F. Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels. *Journal for General Philosophy of Science*, 28, pp. 83–119, 1997.
- ENSEMBLE STUDIOS. *Age of Empires III*, <http://www.ageofempires3.com/>, 2005.
- FARMER, J. D. & Belin, A. d'A. Artificial Life: The Coming Evolution. In: C. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer and S. Rasmussen (eds.), *Artificial Life II*, 1991, pp. 815–840.
- FIRAXIS GAMES. *Civilization IV* <http://www.2kgames.com/civ4/home.htm>, 2005.
- FOGEL, D. B. (Org.) *Evolutionary Computation: The Fossil Record*. IEEE Press, New York, 1998.
- FOUKIA, N. & Hassas, S. Towards self-organizing computer networks: A complex system perspective. In: Proceedings of the International Workshop on Engineering Self-Organizing Applications 2003, Melbourne, Australia.

- GOLDENFELD, N. and Kadanoff, L. P. Simple Lessons from Complexity. *Science*, 284(5411), pp. 87–89, 1999.
- GORDON, D. *Ants at Work: How an Insect Society is Organized*, W. W. Norton, New York, 1999.
- HAYKIN, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd Ed., Prentice Hall, 1999.
- HEYLIGEN, F. Self-organization, emergence and the architecture of complexity. In: *Proceedings of the 1st European Conference on System Science*, Paris, 1989.
- HEYLIGEN, F. The science of self-organisation and adaptivity. In: *The Encyclopedia of Life Support Systems*. UNESCO Publishing-Eolss Publishers, 2002.
- HOLLAND, J. *Emergence: From Chaos to Order*, Oxford University Press, 1998.
- HOLLAND, J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, 1975.
- KEELEY, B. L. Evaluating Artificial Life and Artificial Organisms. In: C. Langton and K. Shimohara (Org.), *Artificial Life V*, Addison-Wesley, 1997, pp. 264–271.
- KENNEDY, J., Eberhart, R. & Shi, Y. *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- KIRBY, S. Natural language from artificial life. *Artif. Life VIII*, pp. 185–215, 2002.
- KUBE, C. R. & Zhang, H. Collective Robotic Intelligence. In *From Animals to Animats: Int. Conf. on the Simulation of Adaptive Behavior*, pp. 460–468, 1992.
- KUBE, C. R. & Zhang, H. Collective Robotics: From Social Insects to Robots. *Adaptive Behavior*, 2, pp. 189–218, 1994.
- KUBE, C. R., Parker, C. A. C., Wang, T. and Zhang, H. Biologically Inspired Collective Robotics. In: L. N. de Castro and F. J. Von Zuben (Org.), *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*, Idea Group Publishing, Chapter XV, 2004, pp. 367–397.
- LANDICK, R. & Yanofsky, C. Transcription attenuation. In: Neidhardt, F. C. (ed) *Escherichia coli and Salmonella typhimurium*. *Cellular and*

- molecular biology*, Vol.2, American Society for Microbiology, Washington, 1987, pp. 1276-1301.
- LANGTON, C. G. Artificial life. In: Langton (Org.) *Artificial Life* (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Vol. VI), Addison-Wesley, Redwood City, California, 1989, pp. 1-47.
- LASZLO, E. *Evolution*. Boston: Shambhala, 1987.
- MALEY, C. C. Four steps toward open-ended evolution. In: Banzhaf, W., Daida, J., Eiben, A. E., Garzon, M. H., Honavar, V., Jakiela, M. & Smith, R. E. (Org.), *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Morgan Kaufmann, 1999, pp. 1336-1343.
- MAXIS. *SimCity 4*, <http://simcity.ea.com/>, 2003.
- MACLENNAN B. Synthetic ethology: a new tool for investigating animal cognition. In: Bekoff M., Allen C., Burghardt G. (Org.), *The Cognitive Animal: Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition*. MIT Press: Cambridge, Mass, 2002, pp. 151-156.
- MORGAN, C. L. *Emergent Evolution*, London: Williams and Norgate, 1923.
- MOSTEFAOUI, S.K., Rana, O.F., Foukia, N., Hassas, S., Marzo, G.D., Aart, C.V. & Karageorgos, A. Self-Organising Applications: A Survey. In: *Proceedings of the International Workshop on Engineering Self-Organising Applications 2003*.
- NOLFI, S. & Floreano, D. *Evolutionary Robotics: the Biology, Intelligence and Technology of Self-Organizing Machines*, MIT Press, 2000.
- NOLFI, S. & Floreano, D. Synthesis of autonomous robots through evolution. *Trends in Cognitive Science*, **6**, pp. 31–37, 2002.
- ODELL, J. Agents and complex systems. *Journal of Object Technology*, **1**(2), pp. 35–45, 2002.
- OFRIA, C. & Wilke, C. O. Avida: a software platform for research in computational evolutionary biology. *Artificial Life X*, pp. 191–229, 2004.
- O'NEILL, B. Digital Evolution. *PLoS Biol*, **1**(1): e8, 2003.
- RAY, T. S. & Hart, J. Evolution of differentiated multi-threaded digital organisms. *Artificial Life VI*, pp. 295-304, 1998.
- RAY, T. S. An evolutionary approach to synthetic biology: Zen and the art of creating life. *Artificial Life*, **1**(1/2), pp. 195-226, 1994.

- RENNARD, J.-Ph. Perspective for Strong Artificial Life in De Castro. In: L. N. de Castro & F. J. Von Zuben (Eds), *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*, Hershey:IGP, pp. 301-318, 2004.
- REYNOLDS, C. W. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. In *Computer Graphics*, 21(4) (SIGGRAPH '87 Conference Proceedings), pp. 25-34, 1987.
- SCIENCE. Special Issue on Complex Systems, *Science Magazine*, 284(5411), 1999.
- SHALIZI, C. R. *Causal Architecture, Complexity and Self-Organization in Time Series and Cellular Automata*. PhD thesis, University of Wisconsin at Madison, 2001.
- SIMS, K. Evolving virtual creatures. In: *Computer Graphics, Annual Conference Series (SIGGRAPH'94)*, pp. 15-22, 1994.
- TAYLOR, T. & Massey, C. Recent developments in the evolution of morphologies and controllers for physically simulated creatures. *Artificial Life VII*, pp. 77-87, 2001.
- TBA e Maxis. *Spore*, <http://www.spore.com/>, 2007.
- THERAULAZ, G. & Bonabeau, E. Modeling the Collective Building of Complex Architectures in Social Insects with Lattice Swarms. *Journal of Theoretical Biology*, 177, pp. 381-400, 1995.
- VON NEUMANN, J. *Theory of Self-Reproducing Automata*. Edited and completed by A.W. Burks. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1966.
- WILKE, C. O. & Adami, C. The biology of digital organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 17, pp. 528-532, 2002.
- WOLF, T. D. & Holvoet, T. Emergence versus self-organisation: Different concepts but promising when combined. In: *Engineering Self-Organising Systems: Methodologies and Applications*, Lecture Notes in Computer Science 3464, pp. 1-15, 2004.



Síntese Computacional de Fenômenos Naturais: Geometria Fractal e Vida Artificial Parte 2: Síntese de Formas

Daniilo Mattos Bonfim¹
Leandro Nunes de Castro¹

1. Introdução

Muitos objetos conhecidos e que vemos no dia a dia podem ser descritos através de formas ‘ideais’, como retângulos, cilindros, cones ou esferas. Objetos, como um livro ou um lápis, possuem uma geometria tão simples e bem definida que qualquer pessoa consegue facilmente descrever suas formas. A maioria dos objetos desenvolvidos pelo homem pode ser facilmente descrita por um conjunto de formas (Euclidianas) básicas, mas o que dizer dos objetos encontrados natureza? Quem é capaz de descrever a forma de uma árvore, de uma montanha ou de um floco de neve?

Desde que Euclides, famoso matemático da Grécia Antiga, desenvolveu a hoje chamada *geometria Euclidiana*, as pessoas se satisfizeram com a idéia de que todos os objetos podem ser descritos através de composições de formas regulares simples. Ele definiu a natureza como um conjunto de formas regulares básicas, como linhas, retângulos, cones e triângulos. Entretanto, é visível que as formas ideais de Euclides apenas tentam fazer uma aproximação, na maioria dos casos grosseira, da realidade dos objetos naturais. É claro que na época de Euclides, por volta de 300 A.C., e até poucos

¹ Laboratório de Sistemas Inteligentes (LSIn), Universidade Católica de Santos (UniSantos), Programa de Mestrado em Informática. Yupanqui Julho Muñoz munoz@lsin.unisantos.br; Leandro Nunes de Castro lnunes@unisantos.br.

anos atrás, isto era aceitável. Porém, os recentes avanços da computação e da matemática levaram ao surgimento de novas técnicas capazes de descrever com maior exatidão e realismo os padrões encontrados na natureza.

Na primeira parte deste artigo foi feita uma discussão sobre a Vida Artificial como uma linha de pesquisa que se ocupa, dentre outras coisas, da síntese computacional de comportamentos exibidos por organismos naturais. Esta parte do artigo enfatiza o uso da geometria fractal como ferramenta para a síntese de formas encontradas na natureza, como plantas, montanhas, regiões costeiras, fogo e outras. Para isso, primeiramente será feita uma explanação do significado da geometria fractal, serão apresentadas algumas formas matemáticas que motivaram o desenvolvimento da teoria de fractais e será apresentado o conceito de dimensão fractal. Em seguida serão discutidos e ilustrados três algoritmos para a síntese de fractais. Este trabalho é concluído com uma listagem das principais áreas de aplicação de fractais além da síntese de fenômenos naturais.

2. *Geometria Fractal*

“Nuvens não são esferas, montanhas não são cones, a casca de uma árvore não é suave, nem mesmo a luz caminha em linha reta. A existência destes padrões nos desafia a estudar estas formas que Euclides deixou para trás como sendo ‘sem forma’, para investigar a morfologia do amorfo” (Mandelbrot, 1982; p. 1). Está claro que objetos ideais de Euclides são exceções na natureza. Fez-se então necessário criar uma nova maneira para tratar o problema levando em conta as diversas peculiaridades das estruturas irregulares da natureza.

O matemático polonês, Beinoît Mandelbrot, propôs, em 1975 o termo *fractal* para identificar as classes de objetos rugosos, quebrados e aparentemente sem forma que reinam absolutamente no mundo em que vivemos. O termo fractal tem sua origem na palavra ‘*fractus*’ do Latim, que significa ‘quebrado’. “A ‘geometria fractal’ é a geometria das formas irregulares que encontramos na nature-

za...” (Mandelbrot, 1982). A geometria fractal consiste em uma extensão da geometria Euclidiana tradicional. Ela não a substitui, e sim a enriquece, trazendo a possibilidade de descrever com precisão objetos diretamente relevantes para a compreensão do mundo real. A geometria fractal pode ser vista como um novo idioma ou uma nova linguagem, uma vez que você o fale, torna-se possível descrever a forma de uma nuvem com a mesma precisão da arquitetura de uma casa (Lesmoir-Gordon *et al.*, 2000). A Figura 1 ilustra alguns fractais comuns na natureza.

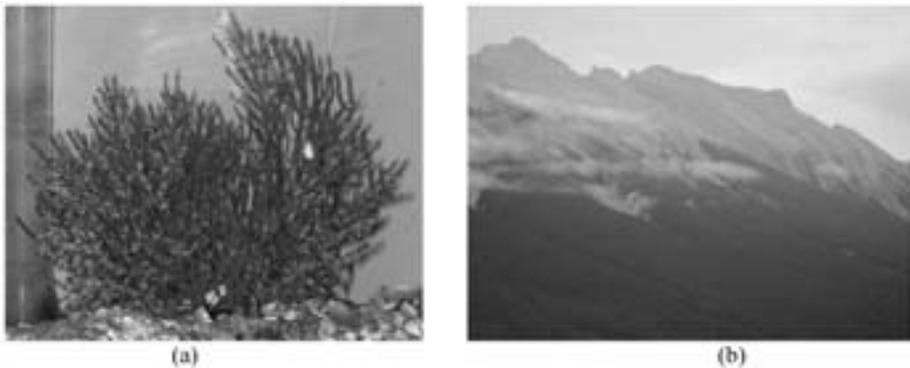


Figura 1: Exemplos de fractais na natureza. (a) Planta marinha. (b) Montanhas.

Em geral, os fractais são caracterizados por detalhes infinitos, tamanho infinito, ausência de suavidade e derivadas, auto-similaridade e dimensão fractal. Um bom exemplo de fractal é uma planta, como a mostrada na Figura 2. Note que se um pequeno galho for retirado da planta inteira, este se parece muito com ela. Se este procedimento for repetido sucessivamente para cada galho resultante, todos eles se parecerão com o todo, porém, em uma escala menor. Esta característica é conhecida como *auto-similaridade* e é uma propriedade intrínseca aos fractais. Apesar de ser comumente encontrada na natureza, esta propriedade não é observada na maioria dos objetos Euclidianos. Por exemplo, um arco de um círculo não é sozinho um círculo, um lado de um triângulo é uma reta e não um triângulo. Há dois tipos principais de auto-similaridade (Hutchinson, 1981):

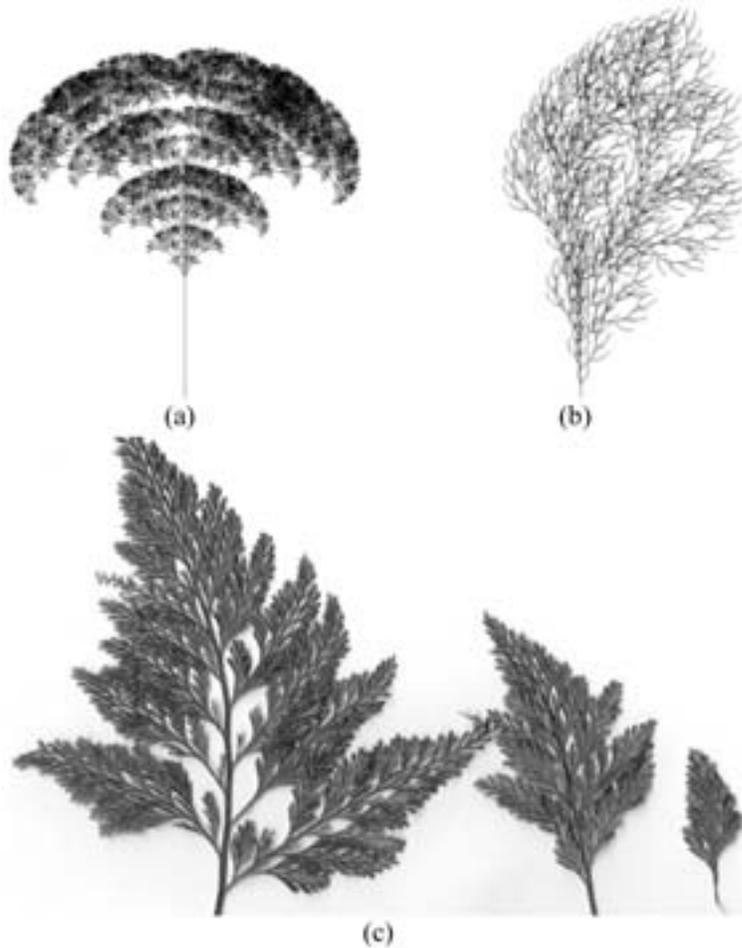


Figura 2: Auto-similaridade de uma planta. (a) Auto-similaridade estrita. (b) Auto-afinidade. (c) Planta real ilustrando a auto-afinidade. As plantas menores à direita da planta maior são ramos da mesma.

- *Auto-similaridade estrita*: Quando o objeto é composto por cópias escalonadas idênticas de si mesmo.
- *Auto-afinidade*: Quando o objeto é formado por cópias menores, mas com uma pequena variação em relação ao todo (Mandelbrot, 1985).

A Figura 2 ilustra a auto-similaridade estrita e a auto-afinidade através de plantas sintéticas geradas por sistemas-L a serem descritos posteriormente, e de plantas naturais.

2.1. Fractais Pioneiros

Os primeiros fractais foram descobertos por K. Weierstrass, G. Cantor, H. Von Koch e outros matemáticos no início do século XIX. Eles foram chamados inicialmente de *monstros matemáticos*, devido à estranhas propriedades que apresentavam. Para entendê-las, vejamos, por exemplo, a curva de Koch, introduzida por H. Von Koch em 1904 (Figura 3). Para obtê-la, pegue uma linha, remova o terço central. Pegue dois segmentos idênticos ao terço retirado e coloque-os lado a lado construindo um triângulo equilátero sem a base. Repita este procedimento para cada segmento da curva resultante infinitas vezes.

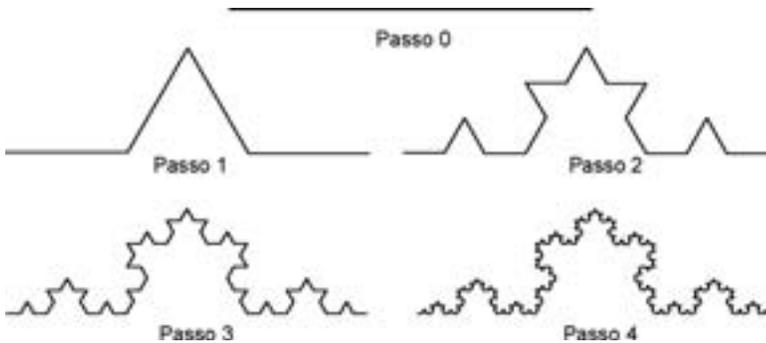


Figura 3: Os quatro primeiros passos para a construção da curva de Koch.

Olhando para a curva de Koch não é difícil entender certas propriedades dos fractais. Note que, enquanto o tamanho dos segmentos tende a zero, seu comprimento tende ao infinito. Isto quer dizer que, no limite, não há segmento de reta algum, isto é, a curva é formada apenas por cantos. Portanto, não é possível achar uma tangente (derivada) para ponto algum da curva, pois ela não é suave em parte alguma. Outro aspecto intrigante é que, apesar desta curva ter tamanho infinito, ela pode ser colocada dentro de um espaço finito (p. ex., um retângulo).

Um outro exemplo clássico de ‘monstro matemático’ é a *curva de Peano*, apresentada por G. Peano no fim do século XIX. Esta

curva é desenhada em um plano e é capaz de preencher o espaço, ou seja, dada uma parte do plano, a curva passa por todos os pontos daquela parte, demonstrando limitações dos nossos conceitos de curva. Isso é conseguido construindo uma curva que se dobra de forma tão complexa que visita todos os pontos do plano. Estas curvas são denominadas de *curvas que preenchem o espaço* (*space filling curve*). Para desenhar a curva de Peano, toma-se inicialmente um segmento de reta e, a cada passo do processo construtivo, todos os segmentos do passo anterior são substituídos por uma curva que consiste de nove segmentos menores, como ilustrado na Figura 4.

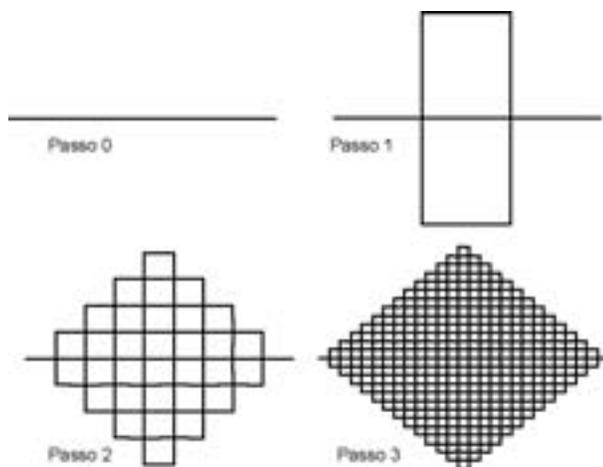


Figura 4: Primeiros passos de construção da curva de Peano.

2.2. Dimensão Fractal

Todos nós aprendemos que pontos possuem dimensão zero, linhas e curvas são unidimensionais, quadrados e retângulos são bidimensionais e um cubo ou esfera é tridimensional. Esta noção de dimensão que vincula a dimensão de um objeto ao número de coordenadas necessárias para descrevê-lo é chamada de dimensão topológica (de Castro, 2006). Dentro da noção de dimensão topológica não há distinção entre, por exemplo, a curva de Koch (Figura 3) e um segmento de reta. Será que é possível dizer que a curva de Koch é unidimensional, sendo que a distância entre quaisquer dois de seu pontos é infinita? Ela é complexa demais para ter dimensão

um, como uma linha, mas também não é ‘grande’ o suficiente para ter dimensão dois, pois ela não é capaz de preencher um plano. Mas afinal, qual é a dimensão de um fractal? Percebe-se que a dimensão topológica não é capaz de definir a dimensão de um fractal. Talvez a curva de Koch possa ter uma dimensão entre um e dois. Fractais não possuem dimensão topológica e sim uma *dimensão fractal*, na qual o valor desta dimensão é diretamente proporcional ao seu grau de complexidade.

Para chegar à dimensão fractal, é possível começar analisando objetos regulares, como os Euclidianos. Já que suas dimensões são conhecidas, é possível aplicar-lhes o conceito de auto-similaridade para observar como se comportam. Podemos assumir que o número de cópias de um objeto é dado pela seguinte expressão:

$$N = (1/m)^d, \tag{1}$$

onde N é o número de cópias auto-similares, m é o fator de redução (tamanho da cópia em relação ao objeto original), e d é a dimensão do objeto.

Por exemplo, veja o quadrado, que tem dimensão dois. Assumindo que cada cópia tem a metade do tamanho do quadrado original, temos $m = 1/2$. Substituindo na Equação (1), temos:

$$N = \left(\frac{1}{1/2}\right)^2 = 2^2 = 4.$$

Portanto, são obtidas quatro cópias de um objeto de dimensão dois quando o tamanho de cada cópia tem metade do tamanho do objeto original. A Figura 5 ilustra esta relação para outras dimensões e com outros fatores de redução.

Portanto, se o objetivo é encontrar uma regra geral para saber a dimensão dos objetos auto-similares, é necessário isolar o parâmetro d do restante da equação, como a seguir:

$$N = (1/m)^d \Rightarrow \log(N) = \log\left((1/m)^d\right) \Rightarrow \log(N) = d \cdot \log(1/m) \Rightarrow d = \frac{\log(N)}{\log(1/m)}$$

Assim, a *dimensão auto-similar* é dada pela equação a seguir:

$$d = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{m})} \tag{2}$$

Considerando novamente o exemplo da curva de Koch, cada segmento da curva transforma-se em quatro cópias idênticas, porém com um terço do tamanho original cada uma. Tem-se, então:

$$d = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{m})} \Rightarrow d = \frac{\log(4)}{\log(\frac{1}{3})} \Rightarrow d \cong 1,26$$

Assim, a dimensão da curva de Koch é aproximadamente 1,26.

Em 1919 F. Hausdorff estendeu a noção de dimensão de auto-similaridade, dada pela Eq. (2), para cobrir todas as formas, não

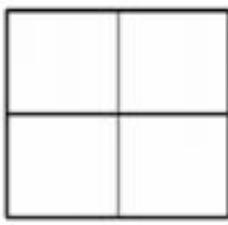
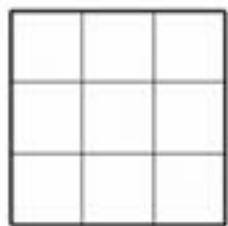
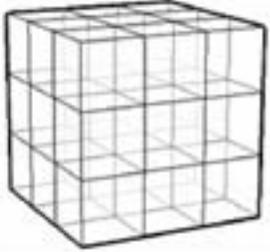
	Dimensão 1	Dimensão 2	Dimensão 3
Dividido por 2			
Cópias	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$
Dividido por 3			
Cópias	$3^1 = 3$	$3^2 = 9$	$3^3 = 27$

Figura 5: Quantidade de objetos auto-similares obtidos para uma, duas e três dimensões considerando os fatores de redução $m = 1/2$ e $m = 1/3$.

apenas aquelas estritamente auto-similares. Esta dimensão fractal descreve a complexidade de um objeto. A dimensão 1 significa suavidade total da forma (p. ex., linha reta) e a complexidade de um fractal aumenta a medida em que sua dimensão aumenta. Este conceito é importante para podermos sintetizar um fractal computacionalmente. Por exemplo, a costa marinha da Inglaterra possui dimensão fractal 1,26, aproximadamente a mesma da curva de Koch (Lesmoir-Gordon *et al.*, 2000).

3. *Fractais para a Síntese de Formas e Fenômenos Naturais*

Os conceitos envolvidos no estudo da geometria fractal facilitam o entendimento e a síntese de formas naturais. O objetivo desta sessão é introduzir o uso de fractais para a síntese de fenômenos naturais, através de alguns casos de estudo de modelagem de arquitetura de plantas. Também serão brevemente discutidas outras técnicas de geometria fractal para modelagem de montanhas e fogos de artifício.

3.1. *Plantas, Árvores e Arbustos*

Agregando os conhecimentos básicos de botânica com os da geometria fractal é possível desenvolver modelos de arquiteturas de plantas e árvores, assim como simular seu crescimento computacionalmente. Os *sistemas de Lindenmayer*, mais conhecidos como Sistemas-L (Lindenmayer, 1968), foram introduzidos pelo biólogo Aristid Lindenmayer como um formalismo matemático para descrever o desenvolvimento de plantas. Lindenmayer introduziu uma notação em forma de cadeia de caracteres que armazena informações sobre crescimento (desenvolvimento) e são interpretadas formando uma figura geométrica que representa um modelo de uma planta. Apesar das limitações iniciais da técnica, seus avanços contínuos tornaram os sistemas-L uma poderosa ferramenta para modelagem de plantas.

A idéia básica dos sistemas-L está contida nos *sistemas de re-escritura*. Um sistema de re-escritura é uma técnica de define objetos complexos partindo de um objeto simples inicial (*iniciador*) e um conjunto *geradores* ou *regras de produção*. Este processo consiste

em substituir o objeto inicial por cópias idênticas de seus geradores e assim sucessivamente por um número finito de passos, para cada objeto obtido. Sua dinâmica se assemelha à dinâmica de construção da curva de Koch (Figura 3), porém com a possibilidade de múltiplos geradores serem aplicados simultaneamente. Um exemplo de sistema de re-escritura é apresentado na Figura 6, onde temos um iniciador A , dois geradores $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow AB$, e o alfabeto $\{A, B, C\}$, que consiste em todos os símbolos que fazem parte do sistema. A cada passo do sistema é obtida uma nova palavra, que consiste na combinação dos símbolos do alfabeto de acordo as *regras de produção*.

Passo	Palavras Obtidas
0	A
1	B
2	AB
3	BAB
4	$ABBAB$
5	$BABABBAB$

Figura 6: Exemplo de um sistema de re-escritura.

Partindo para uma definição um pouco mais formal, um sistema-L tipicamente é dado pela tripla $S = \langle \omega, \Sigma, P \rangle$, onde Σ corresponde a um alfabeto, ω um axioma ou iniciador não nulo e P um conjunto finito de regras de produção (geradores). Sendo uma regra de produção $(A, \chi) \in P$, ela pode ser representada por $A \rightarrow \chi$ que são, respectivamente, o antecessor (letra à qual a regra é associada) e o sucessor (letra resultante da aplicação da regra) da produção. Assume-se também que, para cada elemento do alfabeto, há uma regra de produção específica. Se não há uma regra explicitamente especificada para uma letra A qualquer do alfabeto, assume-se então que $A \rightarrow A$.

Considere um sistema-L com o alfabeto $\Sigma = \{F, G, +, -, [,]\}$, $\omega = F$ e $P = \{P_1, P_2\}$. Este sistema está sendo representado na Figura 7. Cada tipo de seta é representado por uma letra, por exemplo, F para seta sólida e G para seta pontilhada. A regra $P_1 = F \rightarrow FF$ está associada à F , enquanto $P_2 = G \rightarrow F[+G]F[-G]G$ está associada a G .

Os símbolos são interpretados por um algoritmo chamado *gráfico tartaruga* (Szilard & Quinton, 1979). Ele consiste em um agente

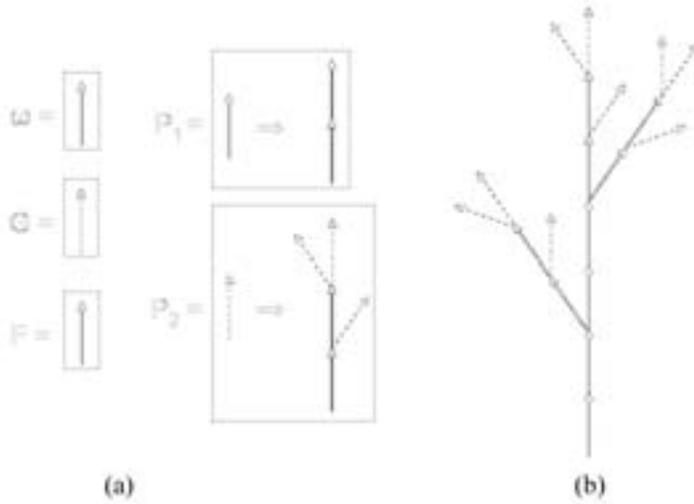


Figura 7: Exemplo do funcionamento de um sistema-L. (a) Alfabeto, axioma e regras de produção. (b) Resultado do sistema-L para duas iterações.

(chamado de tartaruga) que assume uma posição e direção no espaço e é capaz de desenhar objetos nele. Portanto, os símbolos $\{+, -, [,]\}$ são adicionados ao alfabeto para possibilitar uma interpretação geométrica ou pictórica para as palavras geradas. Os símbolos F e G são os símbolos que possibilitam o desenho das setas, onde F representa uma seta sólida, e G representa uma seta pontilhada; os símbolos $+$ e $-$ possibilitam a mudança de direção de uma seta, para direita ou para esquerda, respectivamente; enquanto os colchetes $[$ e $]$ permitem a ramificação da planta, ou seja, a confecção de sub-galhos.

Partindo deste formalismo simplificado é possível criar as formas básicas da estrutura de uma planta como as demonstradas na Figura 2(a) e (b). Ainda com base nestas idéias, muitos outros modelos, com a ajuda de um tratamento gráfico adequado, permitem gerar modelos realísticos e sofisticados das mais diversas plantas. Alguns exemplos são ilustrados na Figura 8.

3.2. Montanhas e Fogos de Artifício

Considere inicialmente um fenômeno chamado *caminhada aleatória* (*random walk*). Uma caminhada aleatória é uma caminhada



Figura 8: Modelos gerados por Sistema-L. (a) Passos do desenvolvimento de uma planta com flores. (b) Arbusto.

que pode ser gerada por um processo aleatório da seguinte forma. Tome as coordenadas x e y de um objeto e adicione a cada um destes valores um passo aleatório Δx e Δy , respectivamente:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= x(t) + \Delta x \\ y(t+1) &= y(t) + \Delta y, \end{aligned} \tag{3}$$

Se este processo for repetido por um número de passos, então o resultado é uma caminhada aleatória, como ilustrado na Figura 9(a). Esta caminhada aleatória está intimamente relacionada com *movimento Browniano*, que é encontrado no movimento de partículas em líquidos e gases, e com *ruído branco*, normalmente usado para descrever outros fenômenos do tipo caminhada aleatória.

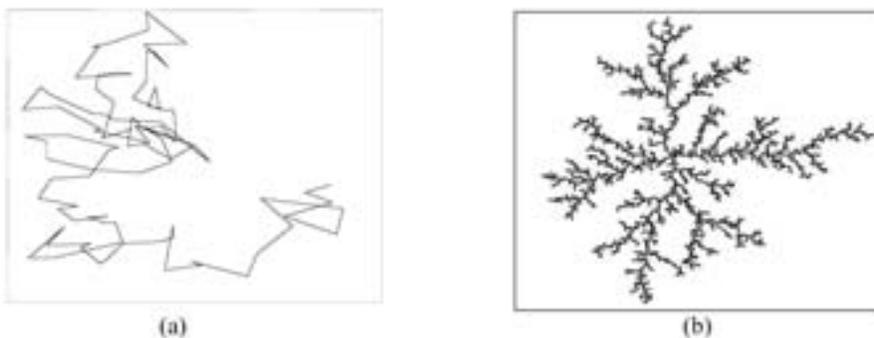


Figura 9: Caminhada aleatória e agregação limitada por difusão. (a) Caminhada aleatória: 100 passos. (b) Agregação limitada por difusão: 2.500 partículas.

Considere agora um experimento que resulta em uma *estrutura fractal dendrítica aleatória* correspondente a um processo de agregação eletroquímica. Um modelo matemático deste processo de agregação é baseado em uma extensão do movimento Browniano, denominada de *movimento Browniano fracionário*. Com estas ferramentas em mãos, é possível sintetizar computacionalmente paisagens, regiões costeiras, etc.

O fenômeno de agregação por deposição eletroquímica é bastante investigado em geometria fractal (Matsushita, 1989). Experimentalmente, o processo de eletro-decomposição controlada pode ser usado para crescer depósitos que exibem estruturas fractais. Por exemplo, colocando uma solução de sulfato de zinco coberta por uma fina camada de acetato-*n*-butyl em uma placa de Petri e aplicando uma tensão contínua ao conjunto é possível verificar o crescimento de estruturas fractais de eletro-depósito e suas variações morfológicas.

A modelagem matemática do processo de depósito eletroquímico do zinco é baseada no conceito central de movimento Browniano, que se refere ao movimento errático de pequenas partículas de matéria sólida em uma suspensão líquida (Peitgen *et al.*, 1992). Uma técnica simples para a simulação deste tipo de movimento Browniano é conhecida como *agregação limitada por difusão* (*diffusion limited aggregation - DLA*) e foi introduzida por Witten & Sandler (1981). Esta técnica opera da seguinte forma: *i*) gere uma grade (*grid*) quadrada de células; *ii*) fixe uma única célula (partícula) no centro da grade; *iii*) selecione uma posição na vizinhança da célula e introduza uma partícula em movimento aleatório; *iv*) se a partícula em movimento sair da vizinhança, então uma nova partícula aleatória é gerada, senão, se ela encontrar uma célula fixa, ela se fixa a esta última. Um resultado de um DLA com 2.500 partículas é apresentado na Figura 9(b).

Mandelbrot & van Ness (1968) introduziram o termo *movimento Browniano fracionário* (fBm) para referenciar uma família de funções Gaussianas aleatórias capazes de fornecer modelos de

diversas séries temporais encontradas na natureza. Desde então, muitas extensões e aproximações foram desenvolvidas para modelar fenômenos naturais, de paisagens a nuvens. O movimento Browniano fracionário é uma generalização do movimento Browniano, definido como um processo aleatório $X(t)$ com incrementos Gaussianos e

$$\text{var}(X(t_2) - X(t_1)) \propto |t_2 - t_1|^{2H} \quad (4)$$

onde $0 < H < 1$, $\text{var}(\cdot)$ corresponde à variância da distribuição Gaussiana e t_i refere-se ao instante de tempo i .

No caso mais geral, os incrementos de X são estatisticamente auto-similares, com parâmetro H , no sentido de que

$$X(t_0 + t) - X(t_0) \text{ e } \frac{X(t_0 + rt) - X(t_0)}{r^H} \quad (5)$$

têm a mesma função de distribuição conjunta finita para quaisquer t_0 e $r > 0$.

Um método popular para gerar movimento Browniano é dado por um algoritmo denominado *algoritmo da sub-divisão recursiva*, também conhecido por *algoritmo do deslocamento aleatório do ponto médio* (Fournier *et al.*, 1982). A operação do algoritmo é bastante simples. Seja um processo aleatório $X(t)$. Inicie com $t = 0$ e escolha $X(1)$ como uma amostra de uma distribuição Gaussiana de média zero e variância σ^2 . Na primeira iteração o ponto médio entre $t = 0$ e $t = 1$ é determinado como a média de $X(0)$ e $X(1)$ mais um deslocamento D_1 de média zero e variância Δ_1^2 . No caso de movimento Browniano fracionário, o deslocamento do ponto médio deve obedecer a seguinte variância:

$$\Delta_n^2 = \frac{\sigma^2}{(2^n)^{2H}} (1 - 2^{2H-2}) \quad (6)$$

onde o parâmetro H , denominado de expoente de Hurst, determina a rugosidade da superfície a ser gerada. A Figura 10 ilustra a utilização de movimento Browniano fracionário para a geração de paisagens montanhosas. No caso (a) é gerada uma espécie de

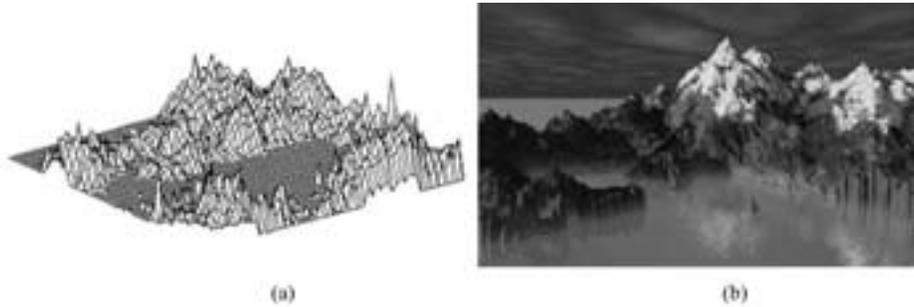


Figura 10: Exemplo de estruturas criadas utilizando movimento Browniano. (a) Esqueleto de uma área montanhosa com um nível mínimo indicando a presença de regiões alagadas. (b) Paisagem gerada com fBm após tratamento gráfico.

‘esqueleto’ de uma paisagem, enquanto no caso (b) o esqueleto é submetido a um processo de tratamento gráfico, resultando em imagens com elevado grau de realismo.

Para sintetizar fenômenos naturais como fogo, explosões e cachoeiras, é necessária uma técnica que não leve em conta apenas a estrutura dos objetos, mas também sua dinâmica. Os *sistemas de partículas* é uma técnica utilizada para simular fenômenos naturais que possuem uma determinada dinâmica, como água em movimento, fogo, chuva, neve, fogos de artifício, etc. (Reeves, 1983). Um sistema de partículas é uma coleção de objetos primitivos, conhecidos como *partículas*, que em conjunto representam algum objeto. Os sistemas de partículas possuem três características que os diferem da maioria das abordagens para a síntese de imagens: *i*) um padrão ou forma é representado por uma coleção (enxame) de partículas; *ii*) as partículas são dinâmicas; e *iii*) um padrão representado pelas partículas não é determinístico, ou seja, sua forma não é completamente pré-especificada.

Uma partícula é modelada através da definição de atributos, como peso, forma, tamanho, velocidade, cor, transparência e tempo de vida. Quando uma certa quantidade de partículas é inserida no sistema e uma dinâmica é determinada, o comportamento geral do sistema é capaz de simular diversos fenômenos. Por exemplo, considere um modelo de simulação de fogos de artifício. Ao lançar-

mos uma partícula com um determinado ângulo de inclinação em relação ao eixo vertical e com uma velocidade inicial pré-especificada, deveremos considerar a atuação de uma força gravitacional na partícula que promoverá um movimento parabólico da mesma. Depois de um certo tempo do lançamento, a partícula poderá ser substituída por um conjunto de partículas menores, também sujeitas a ação da gravidade, que representarão a explosão do fogo de artifício. A Figura 11 ilustra um sistema de partículas simulando um fogo de artifício.

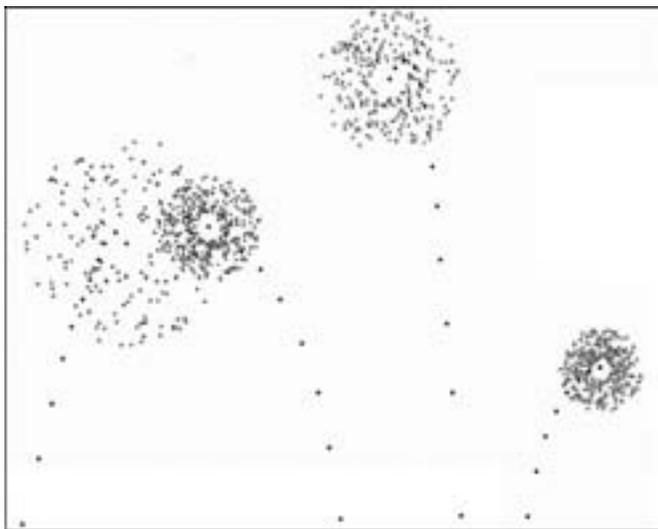


Figura 11: Imagem congelada de todas partículas geradas em uma simulação de fogos de artifício.

4. *Tendências e Aplicações*

Apesar do enfoque na síntese de fenômenos naturais (Pentland, 1984) apresentada neste artigo, os fractais possuem diversas outras abordagens e aplicações. Dentre estas, destacam-se os estudos teóricos sobre fractais e dimensão fractal (Shinmoto & Takeo, 2003), o uso de fractais para aproximação de funções, aplicações na área econômica e financeira, aplicações tecnológicas e aplicações em biologia e na área de saúde. Algumas destas aplicações serão revistas aqui, mas muitas outras que não serão discutidas neste artigo também estão disponíveis

na literatura, como previsão do tempo (Nicollet *et al.*, 2004; Kurnaz, 2004), música (Sengupta *et al.*, 2005), jogos computacionais (Kim, 2006) e aplicações em biologia (Iannaccone & Khokha, 1996).

Aproximação de Funções

A *regressão* ou *aproximação de funções* modela a relação entre uma ou mais *variáveis de resposta* (também chamadas de variáveis de saída, dependentes, preditas ou explicadas) e os *preditores* (também chamados de variáveis de controle, dependentes, explanatórias, ou regressores). Em linhas gerais a regressão corresponde ao problema de estimar uma função a partir de exemplos de estímulo-resposta (entrada-saída). Em análise numérica, *interpolação* é um método de construção de novos pontos de dados a partir de um conjunto discreto de pontos conhecidos. Trata-se de um caso específico de aproximação de funções (regressão), onde a função deve passar exatamente pelos pontos a serem aproximados (interpolados). Fractais têm sido amplamente usados como interpoladores de função e seus aspectos teóricos são alvo de intensas pesquisas (Barnsley, 1986; Navascués & Sebastián, 2004; Chand & Kapoor, 2006).

Área Econômica e Financeira

O estudo de sistemas econômicos está se tornando uma área interdisciplinar, envolvendo pesquisadores de diversas áreas, como economia, matemática, estatística, engenharia, computação e física. Dentre os tópicos de investigação de maior interesse destacam-se a flutuação de preços em mercados (abertos), a distribuição de renda de empresas, as flutuações das relações de escala das empresas, a análise financeira de mercados e taxas cambiais e a análise de mercados futuros (Kim & Yoon, 2003). O uso da teoria de fractais nas áreas econômica e financeira vem ganhando força ao longo dos últimos anos e vem mostrando ser capaz de apresentar resultados em alguns casos superiores aos obtidos pelas técnicas alternativas (Peters, 1994; Kim & Yoon, 2003; Matia *et al.*, 2003; Mandelbrot & Hudson, 2004; Mandelbrot, 2005).

Medicina e Saúde

A teoria e a geometria fractal também tem sido amplamente utilizada na medicina e outras áreas de saúde (Havlin et al., 1995). Ela tem sido empregada, por exemplo, na análise de batimentos cardíacos (Meyer *et al.*, 2003; Lin, 2003), em estudos sobre o sistema circulatório (Iversen & Nicolaysen, 1995; Han *et al.*, 2003), sistema nervoso (Balestra *et al.*, 2004; Zietsch & Elston, 2005), análise de patologias no sistema bronco pulmonar (Boxt, 1994) na descrição da arquitetura patológica de tumores (Gross, 1997; Baish & Jain, 2000), identificação de câncer de mama (Lefebvre, 1995; Priebe, 1994), detecção de doenças oftalmológicas (Daxter, 1993), estudos sobre o mal de Alzheimer (Nagao, 2001; Woyshville, 1994) dentre outros.

Aplicações Tecnológicas

As aplicações de fractais na área tecnológica são variadas, mas algumas em particular têm recebido especial atenção nos últimos anos. Como exemplos, podemos citar a descoberta de conhecimentos em base de dados – *knowledge discovery and data mining* – (Kostoff *et al.*, 2004; Loocke, 2004), o projeto de antenas (Cohen, 1997; Yang *et al.*, 1999; Song *et al.*, 2004), compressão e processamento de imagens (Keller *et al.*, 1989; Barnsley & Hurd, 1992; Jacquin, 1993; Fisher, 1995; Saupe & Hamzaoui, 1996; Wohlberg & de Jager, 1999), construção de circuitos digitais (Lazareck, 2001).

5. Discussão

A geometria fractal é baseada em uma forma de simetria que corresponde à invariância sob contração e dilação. Os fractais matemáticos e naturais são formas cuja rugosidade e fragmentação não desaparecem e nem flutuam, permanecendo essencialmente constantes quando é feito um aumento (*zoom in*) ou diminuição (*zoom out*) da visualização da imagem. Outra característica importante da geometria fractal ilustrada neste artigo, é que os algoritmos empregados para criar os fractais são tipicamente muito simples, enquan-

to as formas resultantes podem ser arbitrariamente complexas (ver, por exemplo, a Figura 8 e a Figura 10). Em princípio, era de se esperar que a construção de formas complexas fosse necessitar regras ou algoritmos complexos. Assim, a geometria fractal pode ser entendida como uma *linguagem geométrica*, que pode ser empregada para estudar diversos aspectos de objetos, matemáticos e naturais, que não são suaves, mas que apresentam mesmo grau de rugosidade e fragmentação em diferentes escalas (Mandelbrot, 1989).

A importância da geometria fractal reside no fato de que ela descreve uma área diretamente relevante para o estudo da natureza e de muitos outros contextos, como engenharia, medicina e ciências fundamentais. Portanto, ela é peça chave para o entendimento do mundo em que vivemos, de tudo que está ao nosso redor e dentro de nós. A síntese computacional de formas naturais utilizando a geometria fractal representa uma poderosa ferramenta de análise e estudo de formas naturais. Sintetizando computacionalmente fenômenos naturais podemos entender melhor quais são as regras que determinam as complexas formas e comportamentos dos objetos naturais. Estudar a geometria fractal significa compreender melhor como a natureza se organiza e resolve seus problemas. Um bom exemplo disto é o corpo humano. Poucas partes do corpo têm uma estrutura regular como, por exemplo, o globo ocular, a sua maior parte possui uma característica fractal. Os vasos sanguíneos não chegariam a cada pequena parte do nosso corpo se não tivessem estruturas fractais. O cérebro organiza suas conexões de forma fractal de modo a otimizar o espaço em que ele ocupa, a mesma coisa acontece com os brônquios dos pulmões que se ramificam de forma a maximizar a absorção do ar.

Fractais têm se mostrado uma ferramenta importante em diversas áreas da ciência, como astronomia (Heck & Perdang, 1991), biologia (Havlin *et al.*, 1995), medicina (Havlin *et al.*, 1995), economia (Mandelbrot & Hudson, 2004), computação gráfica (Peitgen *et al.*, 1988; Ng, 2005), física (Jean-Fraçois, 1997), e muitas outras. Este artigo buscou apresentar não só os fundamentos da geometria fractal

e sua aplicação à síntese de fenômenos naturais, como também sua aplicabilidade nos mais diversos contextos, sempre com o objetivo de alertar o leitor para a importância de se estudar esta nova área, que certamente ainda tem muito a oferecer graças à sua profunda relação com a natureza. A vasta gama de aplicações nas mais diversas áreas que hoje já estão sendo pesquisadas mostra que a geometria fractal não é apenas uma área promissora, mas sim uma realidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à Fapesp pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- BAISH, J. W. & Jain, R. K. Fractals and Cancer. *Cancer Research*, **60**, pp. 3683–3688, 2000.
- BALESTRA, C., Marroni, A., Farkos, B., Peetrons, P., Vanderschueren, F., Duboc, E., Snoeck, T. & Germonpré, P. The Fractal Approach as a Tool to Understand Asymptomatic Brain. *Fractals*, **12**(1), pp. 67–72, 2004.
- BARNESLEY, M. F. Fractal functions and interpolation. *Journal Constructive Approximation*, **2**(1), pp. 303–329, 1986.
- BOXT L. M., Katz J., Leibovitch L. S., Jones R., Esser P. D. & Reid L. Fractal analysis of pulmonary arteries: The fractal dimension is lower in pulmonary hypertension. *Journal of Thoracic Imaging*, **9**(1), pp. 8–13, 1994.
- CHAND, A. K. B. & Kapoor, G. P. Generalized cubic spline fractal interpolation functions. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, **44**(2), pp. 655–676, 2006.
- COHEN, N. Fractal Antenna Applications in Wireless Telecommunications. *IEEE Proc. Professional. Program Electronics Industry Forum*, pp. 43–49, 1997.
- CROSS, S. S. Fractals in Pathology, *Journal of Pathology*, **182**, pp. 1–8, 1997.
- DAXER A. Characterisation of the neovascularisation process in diabetic retinopathy by means of fractal geometry: Diagnostic implications. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol*, **231**, pp. 681–686, 1993.

- FLAKE, G. W. *The computational beauty of nature*, MIT Press, 1998.
- Fisher, Y. *Fractal image compression*, Springer-Verlag, New York, 1995.
- HAHN, H. K., Evertsz, C. J. G., Fasel, J. H. D. & Peitgen, H. O. Fractal Properties Segment Anatomy and Interdependence of the Human Portal Vein and the Hepatic Vein in 3D. *Fractals*, **11**, pp. 53-62, 2003.
- HAVLIN S., Buldyrev S.V., Goldberger A.L., Mantegna R.N., Ossadnik S.M., Peng C.K., Simon M. & Stanley H. E. Fractals in Biology and Medicine. *Chaos Solitons & Fractals*, **6**, pp. 171-201, 1995.
- HECK, A. & Perdang, J. M. *Applying Fractals in Astronomy*, Springer-Verlag, 1991.
- HUTCHINSON, J. E. Fractals and self-similarity. *Indiana University Mathematics Journal*, **30**(5), pp. 713-747, 1981.
- IANNACCONE, P. M. & Khokha, M. *Fractal Geometry in Biological Systems*, CRC Press, 1996.
- IVERSEN P. O. & Nicolaysen G. Fractals describes blood flow heterogeneity within skeletal muscle and within myocardium. *American Journal of Physiology*, **268**, pp. H112-H116, 1995.
- JACQUIN, A.E. Fractal image coding: A review. *Proceedings of the IEEE*, **81**(10), pp. 1451-1465, 1993.
- JEAN-FRANÇOIS GOUYET & AMY L. R. Physics and Fractal Structures. *American Journal of Physics*, **65**(7), pp. 676-677, 1997.
- KELLER, J. M., Chen, S., and Crownover, R. M. Texture description and segmentation through fractal geometry. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **45**, pp. 150-166, 1989.
- KIM K. & Yoon S.-M. Dynamical behavior of continuous tick data in futures exchange market. *Fractals*, **11**, pp. 131-136, 2003.
- KIM, S. Player's Positional Dependence of Fractal Behaviors in a Soccer Game. *Fractals*, **14**(1), pp. 71-76, 2006.
- KOSTOFF, R. N., Shlesinger, M. F. & Malpohl, G. Fractals text mining using bibliometrics and database tomography. *Fractals*, **12**(1), pp. 1-16, 2004.
- KURNAZ, M. L. Application of Detrended Fluctuation Analysis to Monthly Average of the Maximum Daily Temperatures to Resolve Different Climates. *Fractals*, **12**(4), pp. 365-373, 2004.

- LAZARECK, L. Verch, G. & Peter, A. F. Fractals in circuits. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2001.
- LESMOIR-GORDON, N., Rood, W. & Edney, R. *Introducing Fractal Geometry*, ICON Books UK, 2000.
- LIN D. C. Model the fractal component in heart rate variability as a dyadic bounded cascade. *Fractals*, **11**, pp. 63-76, 2003.
- LINDENMAYER, A. Mathematical Models for Cellular Interaction in Development, Parts I and II. *Journal of Theoretical Biology*, **18**, pp. 280–315, 1968.
- LEFEBRE F., BENALI H., Gilles R., Kahn E. & Di Paola R. A fractal approach to the segmentation of microcalcification in digital mammograms. *Med Phys*, **22**, pp. 381–390, 1995.
- LOOCKE, P. V. Visualization of Data on Basis of Fractal Growth. *Fractals*, **12**(1), pp. 123-136, 2004.
- M. F. BARNESLEY & L. P. Hurd. *Fractal image compression*, A. K. Peters, Boston, 1992.
- MANDELBROT, B. *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman and Company, 1983.
- MANDELBROT, B. B. Self-affine fractals and fractal dimension. *Physica Scripta*, **32**, p.257-260, 1985.
- MANDELBROT, B. B. Fractal Geometry: What Is It, and What Does It Do? *Proc. of the Royal Society of London A*, **423**, pp. 3-16, 1989.
- MANDELBROT, B. B. & Hudson, R. L. *The (Mis)behavior of Markets - A Fractal View of Risk, Ruin, and Reward*, Basic Books, 2004.
- MANDELBROT, B. B. *Fractals and Scaling in Finance*, Springer, 2005.
- MANDELBROT, B. B. & van Ness, J. W. Fractional Brownian Motions, Fractional Noises and Applications. *SIAM Review*, **10**(4), pp. 422–437, 1968.
- MATIA K., Ashkenazy Y. & Stanley H. E. Multifractal properties of price fluctuations of stock and commodities. *Europhysics Letters*, **61**, pp. 422-428, 2003.
- MEYER, M., Stiedl, O. & Kerman, B. Discrimination by Multifractal Spectrum Estimation of Human Heartbeat. *Fractals*, **11**(2), pp. 195–204, 2003.

- NAGAO, M., Murase, K., Kikuchi, T., Ikeda, M., Nebu, A., Fukuhara, R., Sugawara, Y., Miki, H., Ikezoe, J. **Fractal Analysis of Cerebral Blood Flow Distribution in Alzheimer's Disease.** *J Nucl Med*, **42**, pp. 1446-1450, 2001.
- NG, T., Chang, S., Hsu, J., Xie, L. & Tsui, M. Physics-motivated features for distinguishing photographic images and computer graphics. *Proceedings of the 13th Annual ACM international Conference on Multimedia*, pp. 239-248, 2005.
- NAVASCUÉS, M. A. & Sebastián, M. V. Generalization of Hermite functions by fractal interpolation. *Journal of Approximation Theory*, **131**(1), pp. 19-29, 2004.
- NICOLLET, M., Lemarchand, A. & Cavaciuti, N. Detection of atmospheric turbulence by multifractal analysis using wavelets. *Fractals*, **12**(2), pp. 211-221, 2004.
- PEITGEN, H.-O & Saupe, D. *The Science of Fractal Images*, Springer-Verlag, 1988.
- PENTLAND A. P. Fractal-based description of natural scenes”, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **6**, pp. 661-674, 1984.
- PRIEBE C. E., Solka J. L., Lorey R. A. et al. The application of fractal analysis to mammographic tissue classification”, *Cancer Lett*, **77**, pp. 83-189, 1994.
- PRUSINKIEWICZ, P. & Lindenmayer, A. *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer-Verlag, 1990.
- REEVES, W. T. Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. *ACM Transactions on Graphics*, **2**(2), pp. 91-108, 1983.
- ROOM, P., Hanan, J. & Prusinkiewicz, P. Virtual Plants: New Perspectives for Ecologists, Pathologists and Agricultural Scientists, *Trends in Plant Science*, **1**(1), pp. 33-38, 1996.
- SAUPE, D. & Hamzaoui, R. *A bibliography for fractal image compression*. Institut für Informatik, Universität Freiburg, Germany. Available as <ftp://www.informatik.uni-freiburg.de/documents/papers/fractal/biblio.ps.gz>, 1996.
- SENGUPTA, R., Dey, N., Datta, A. K. & Ghosh, D. Assessment of Musical Quality of Tanpura by Fractal-Dimensional Analysis. *Fractals*, **13**(3), pp. 245-252, 2005.

- SHINMOTO, J. & Takeo, F. The Hausdorff Dimension of Sub-Self-Similar Sets, *Fractals*, 11(1), pp. 9-18, 2003.
- SIMS, K. Artificial Evolution for Computer Graphics. *Computer Graphics*, 25(4), pp. 319–328, 1991.
- SMITH, A. R. Plants, Fractals, and Formal Languages. *Computer Graphics*, 18(3), pp. 1–10, 1984.
- SONG, C. T. P., Hall, P. S. & Ghafouri-Shiraz, H. Shorted fractal Sierpinski monopole antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(10), pp. 2564-2570, 2004.
- SZILARD, A. L. and Quinton, R. E. An Interpretation for DOL systems by Computer Graphics. *The Science Terrapin*, 4, pp. 8–13, 1979.
- WOHLBERG, B. & De Jager, G. A review of the fractal image coding literature. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(12), pp. 1716-1729, 1999.
- WOYSHVILLE M. J., Calabrese J. R. Quantification of occipital EEG changes in Alzheimer's disease utilizing a new metric: the fractal dimension. *Biol Psych*, 35, pp. 381–387, 1994.
- YANG, X., Chiocetti, J., Papadopoulos, D. & Sussman, L. Fractal Antenna Elements and Arrays. *Applied Microwave & Wireless*, 11(5), pp. 34-46, 1999.
- ZIETSCH, B. & Elston, G. N. Fractal Analysis of Pyramidal Cells in the Visual Cortex of the Galago (*Otolemur Garnetti*): Regional Variation in Dendritic Branching Patterns Between Visual Areas. *Fractals*, 13(2), pp. 83-90, 2005.



Professor Oswaldo Frota-Pessoa: uma aula diferente

Oswaldo Augusto Sant'Anna¹

Sou privilegiado por ter conhecido pessoas que me concederam a oportunidade de aprender e apreender a ciência, a história, essências para minha formação. Nunca esquecerei o quanto me foram e são importantes as convivências com Maria Siqueira, Maria Esteves, Guido Biozzi, Rubén Binaghi, Ivan Mota, Annie Provost-Danon, Denise Mouton, Luiz Edmundo Magalhães, Renato Basile, Peter Dietrich, Wilmar Dias da Silva, Isaias Raw, Crodovaldo Pavan, Otto Bier, Georgio Schreiber, Luiz Trabulsi, Sônia Dietrich, Erney Camargo, Nelson Vaz, Luiz Travassos, entre outros incluindo o professor Oswaldo Frota-Pessoa. As mais diversas personalidades e experiências compõem o mosaico que me preparou para a sobrevivência e para o exercício da ciência. Frente a esses cientistas e junto aos mais jovens, fonte permanente de aprendizado, fui iniciado nas ciências e na vida. Conheci o professor Frota-Pessoa em 1969, quando aluno no segundo ano de graduação. Gostando de Genética, solicitei autorização para cursar a Disciplina de Genética Humana sob sua responsabilidade e ministrada pela Dra. Yatio Yonenaga, na Pós-Graduação. Desde então, passei a tê-lo como amigo referencial e inspirador. Compartilhamos saraus e momentos inesquecíveis. Essa entrevista reflete uma parte do todo que esse raro educador e humanista concedeu-me.

¹ Pesquisador PqC VI do Laboratório de Imunoquímica, diretor científico do Centro de Toxinologia Aplicada - Instituto Butantan, gbrazil@usp.br

Oswaldo Frota-Pessoa

Department of Biology, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

PROFESSIONAL SUMMARY

Born March 30, 1917, Rio de Janeiro, Brazil

Graduated in Natural History (1938) and Medicine (1941), PhD in Biology (1953), Staff member (1958), Privat Docent (1963), Associate Professor (1973), and Full Professor (1978) at the University of São Paulo.

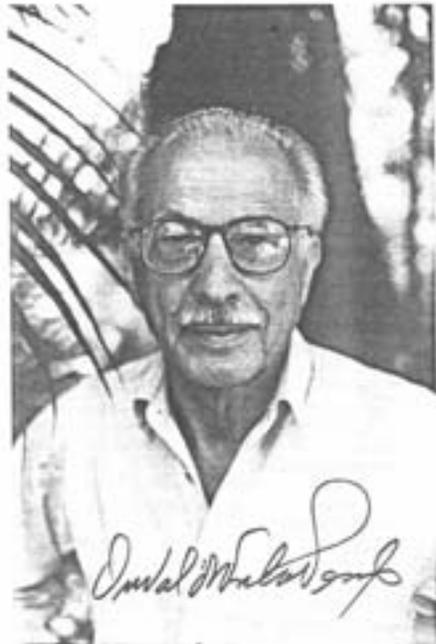
Member of the Academy of Sciences of São Paulo State (1974) and of the Brazilian Academy of Sciences (1979); member ("Comendador") of the Brazilian National Order of Scientific Merit (1995); Professor Emeritus of the University of São Paulo (1995).

Fellow of the Rockefeller Foundation at Columbia University (1953-1955), and of the Department of State (Fullbright), as Visiting Professor at the University of Wisconsin (1964-1965).

Secondary teacher of Sciences and Biology in public schools in Rio de Janeiro (1939-1958), staff member at the University of Brasil (Rio de Janeiro, 1942-1958).

Expert in science education of the Pan American Union, Washington, D. C. (1955-1956); consultant on human genetics of the World Health Organization (1961-1966); director of the Brazilian Center of the Multinational Genetics Program of the Pan American Union (1968-1973); director of the Biology Curriculum Study at the University of São Paulo (1972-1979); president of the Brazilian Society of Genetics (1978-1979) and the Latin-American Genetics Association (1969-1971).

Prizes: Brazilian José Reis Prize for Popularization of Science (1961), UNESCO International Kalinga Prize for Popularization of Science (1982), Alfred Jarrukowski Prize of the Brazilian National Academy of Medicine, for relevant basic research for medicine (1989).



OAS – Comecei a pensar sobre ciência e arte há tempos atrás, no início dos anos oitenta, quando fui entrevistar Paulo Duarte, provavelmente a última entrevista dele, pois logo depois faleceu. Tudo começou de um modo simples: o que assistia na televisão eram entrevistas banais, nada inteligentes e nunca com cientistas. Um dia lembrei-me que, quando jovem, lia a Revistas Anhembi, editada por Paulo Duarte, onde a ciência, o cinema, a literatura, o teatro eram temas constantes. Considero-o meu inspirador. É como se eu tivesse uma dívida. Tinha lido um pouco de seus livros de memórias e havia uma história fantástica que reproduzia o dia em que vários intelectuais pegaram o vapor que iria levá-los, exilados do Recife para Portugal no fatídico “Estado Novo”. Um deles era Sérgio Milliet e me parece que foi ele quem disse: “Estamos deixando uma terra filha da puta, para ir para puta que a pariu”. No fim ele estava

certo, pois pouco tempo após a chegada dos brasileiros, Salazar deu o golpe e eles tiveram que se deslocar para outros países.

Nessa época andei procurando algum cientista para falar sobre arte. Queria entrevistar um artista para falar sobre ciência e um cientista para falar sobre arte, para saber como são as sensibilidades. É muito interessante, porque a visão do artista em relação à ciência é a noção tecnológica, absolutamente dirigida, como se o conhecimento fosse um aspecto muito subalterno nesse processo. Como estava encontrando narrativas e textos sobre estética na arte e na ciência, escritos pelo professor Maurício Rocha e Silva, queria mesmo era conversar com as pessoas. Cheguei a me encontrar com Rocha e Silva e pedi uma entrevista. Prontamente concordou e se interessou pela idéia dizendo: “Que ótimo! Eu quero ver o que os artistas falam sobre ciência”. Infelizmente ele faleceu e perdi essa oportunidade que, sem dúvida, seria excelente. O tempo passou e eu resolvi retomar as entrevistas. Você é o primeiro cientista que concordou e agradeço por ter aceitado.

OFP – Vou tratar aqui da arte e ciência. Estamos gravando na segunda-feira, dia 10 de abril de 1995.

Eu sou a anti-arte. Penso imediatamente na arte como uma propriedade que deve ter algum valor adaptativo e fico buscando porque a arte não produz um bem material imediato, a não ser o seu próprio produto, que artificialmente é valorizado pela cultura. Mas não é algo que se coma, que se beba, é quase artificial. Por que o homem desenvolve atividades artísticas? Só vejo um caminho aqui, e é verificar que na origem do homem, a arte rupestre tal qual a gente conhece, estava associada, muito provavelmente, ao xamanismo, à metafísica e à feitiçaria. Vamos induzir os animais a ficarem mais abundantes ou vamos facilitar a caça, praticando na figura a seta entrando no bicho, de modo que na realidade isso se repita. Até hoje o efeito seria esse, não? Pega-se um objeto qualquer da pessoa amada e faz algo para que aconteça o que você deseja; é uma atividade clássica. Assim, se a arte primitiva era intrinsecamente religiosa, ela

deve ter o seu valor adaptativo ligado ao próprio valor adaptativo da religião e esse não há dúvida que existe; quer dizer, o indivíduo que adota uma religião, se aglutina com seus colegas de religião e forma uma super-sociedade, forte perante as agruras da vida. Um padre que viaja pelo mundo, em qualquer lugar que ele esteja, terá casa e comida, pois vai para o convento correspondente à sua ordem, onde é bem tratado e paparicado. A religião tem um alto valor adaptativo, mesmo na população mais primitiva. A gente imagina que a aglutinação do grupo se faz em torno da mitologia, que é passada pelos pajés, pelos feiticeiros etc. Eles têm um poder grande sobre as pessoas. O exercício da religião é também adaptativo, porque produz uma maior solidariedade no grupo. Assim vejo a arte, em sua origem, como um fazer de obras artísticas, com um componente genético ligado ao que promove o interesse pelas interpretações filosóficas e religiosas, é uma gêmula que sai da religião.

A arte tem aspectos interessantes, comparando com a ciência, porque a ciência trata de ver as coisas como elas são e a arte não está interessada em como as coisas são. A arte quer criar novidades. Uma se concentra no que existe e a outra quer criar uma fantasia, um mundo novo. São complementares e têm um ponto de união que é a tecnologia. No caso da arte, a capacidade de executar os atos artísticos com precisão e perfeição contrasta com a própria natureza da arte, ou seja, de procurar o jogo aberto na fantasia. O verdadeiro artista deve ser aquele que se lança na criação de uma realidade fantasiosa e isso é o ato de arte essencial e puro. Mas ele começa a exprimir materialmente suas idéias, suas intuições criadoras e esbarra na necessidade de adquirir uma técnica. Se ele é pintor, tem que aprender a misturar as cores ; se ele é músico, tem que manipular o instrumento e aí a técnica supera a arte, porque ela se torna tão exigente e tão desenvolvida que, às vezes, abafa a própria inspiração. Estive, outro dia, em um bar com piano e achei interessante que o pianista era uma maravilha, como capacidade técnica: as harmonizações, o improvisado, uma técnica fantástica. Só que não atingia a alma da gente, entende?

A técnica era tão boa que abafava o som do Tom Jobim. Há uma espécie de antagonismo entre a técnica e a criação na arte: uma precisando da outra, mas uma limitando a outra.

OAS – E na ciência também, hoje em dia...

OFP – É claro, esse dueto da fé, não é? Só que ele é feito sobre a procura da verdade existente, dos fatos existentes e na arte é a criação de um mundo imaginável.

OAS – Mas não é tanto não! Na Imunologia, por exemplo, eu diria que atualmente os trabalhos pouco acrescentam ao conhecimento da natureza. Estamos perdendo a chance de conhecer a natureza!

OFP – Veja bem, é preciso lembrar que, para estudar a natureza tal como ela existe, é preciso fragmentá-la. Só assim é possível não estudar todas as variáveis ao mesmo tempo. Não se está fazendo isso para criar uma fantasia. Essa é a diferença com a arte; é um passo da técnica cujo objetivo é estudar a natureza tal como ela é, e as coisas como elas são. Então, tem-se o artifício de técnica. De novo, é a interação da técnica com o que se pretende fazer. Se você pudesse chegar e descrever a imunologia direto do bicho que está correndo no meio do mato seria o ideal, mas não pode! Você está refreado pela técnica, é obrigado a fazer experimentos *in vitro* ou usar linhagens de animais que não existem na natureza, criadas em laboratório e depois extrapolar. Usando o seu comentário: « o camundongo reage igualzinho ao homem », ou seja, você deu um salto do camundongo ao homem e comparou as reações. A intenção não era vacinar camundongos, mas foi obrigado pela técnica a usá-los. Não creio que isso seja uma característica de semelhança, mas há uma interação com a técnica, tanto na arte como na ciência. Na ciência, altera-se a realidade através da técnica para atingir a realidade plena e, na arte, alteram-se as condições do trabalho para obter uma fantasia. Continua válida essa dicotomia

OAS – O professor Rocha e Silva escreveu um artigo muito interessante sobre a estética na ciência e na arte.

OFP – Ah, sim. É comum se dizer que a pesquisa é bonita, porque o núcleo dessa beleza é engraçado, é reducionista. O que é bonito na pesquisa científica é a simplicidade e a simplicidade só existe através da redução, não? Explica um fenômeno complexo através de uma relação com fenômenos simples que se combinam e dão o panorama total, e isso é bonito. Por outro lado, não é bonito descrever cada aspecto dos muitos que ali existem nesse mesmo fenômeno complexo. Então, quais são os elementos da beleza científica? O primeiro é sistematicamente a simplicidade obtida pelo reducionismo e o segundo é a originalidade. Achamos linda a originalidade da idéia, quando todos estão batalhando e não conseguem um resultado bom, até que alguém trata a questão de uma maneira que ninguém nunca havia feito; como na mecânica quântica e a história de que a luz é ao mesmo tempo onda e partícula. São idéias originais de uma beleza fantástica, porque resolvem um problema, São, muitas vezes, originais por fugir ao senso comum. O senso comum é feio, o senso comum é corriqueiro e quando você consegue ultrapassar o senso comum, a isso chamamos de originalidade. A originalidade tem um conteúdo que desperta admiração e, portanto, beleza. Talvez a gente possa pensar que na ciência o belo está na metodologia da pesquisa, não tanto no resultado e, na arte, a beleza está no resultado. Não se aprecia o artista fazendo a tinta; já o cientista fazendo a pesquisa, desde da invenção do método, na luta contra o problema, é onde se encontra a beleza. Mas é claro que também existe a beleza do resultado final.

OAS – Você é um artista na ciência.

OFP – É, mas eu preciso da interação com outras pessoas.

OAS – Outra questão é que você vê o exercício da sensibilidade na ciência e na arte, não? E isso eu admiro muito na vida. De alguma maneira, você participa das duas coisas, seja ligado à ciência ou à arte, essa conjugação.

OFP – Quer dizer, no cotidiano existem os dois aspectos?

OAS – É, você como cientista se valeu, muitas vezes, da arte.

OFP – A ciência se caracteriza pelo racionalismo, quer dizer, o pensamento cuidadosamente verificado e reverificado, lógico, profissional. A arte não, pelo contrário. A arte se vale da intuição, da criação livre, sem a eterna obrigação de corresponder à realidade. Estamos falando do cerne, não? O cerne da ciência é a escravidão voluntária e desejada à realidade, e da arte é a insurreição contra a realidade a ponto de se criar outra. Mas no processo de realizar ciência ou arte, tudo está presente, porque na arte é preciso dominar a tecnologia, que é uma escravidão. Um pianista foi contratado para escolher o piano do Teatro Municipal e, para isso, foi para os Estados Unidos, viu dez pianos da melhor marca que existe, testou todos, escolheu um. Voltou ao Municipal e deu o concerto. Quer dizer, para chegar a esse ponto, esse pianista passou 20 anos de escravidão, foi escravo da técnica, não? Sua liberdade é o que o faz um grande pianista e não apenas um técnico. O que transcende da técnica é que faz a arte; transcende dessa técnica a criação artística, que é um manejo sutil das insistências, dos pequenos intervalos de tempo alterados de acordo com o gosto dele, com a maneira como ele vê a coisa. Então, no caso de um pianista, ele sofre um peso fantástico de técnica escravista para poder gozar um aro mínimo de arte. Em outras artes isso não é regra e o artista pode ter pouca técnica e muita expansão da sua criatividade. Na ciência, as duas coexistem. Note que é um problema de proporção do que está no cerne. Na ciência, o cerne é a disciplina, não só a técnica de laboratório, mas a técnica de pensamento. Aí é que está o negócio... Na arte, a técnica do pensamento é libertária. Quanto mais livre se estiver para pensar e ter suas intuições, melhor artista será, porque a função é criar. Não é assim na ciência, em que é preciso ter um impulso de intuição, sem dúvida, e isso é criação, mas é uma criação num caminho pré estabelecido. Não se cria aleatoriamente, cria-se dentro de parâmetros hipotéticos, para ter a intuição da hipótese válida e aí, como que arrependido desse arroubo, volta-se atrás e, como um escravo, checa-se cada detalhe para conformar-se com a

realidade. Então, a deusa da ciência é a realidade e a deusa da música é o fantasioso. Aquilo que eu estava falando da...

OAS – Do exercício do sensível.

OFP – É. O exercício do sensível...

OAS – Desde que eu nos conhecemos, sei que além de cientista e professor, você gosta de música...

OFP – Claro, mas aí há um outro aspecto. Por exemplo, eu não tenho poder criador nenhum na música. Fiz só um samba na minha vida, horroroso...

OAS – É o que havia dito : “Não tenho capacidade criativa, mas tenho capacidade de admirar”.

OFP – É exatamente isso. Há dois aspectos na arte, o criador e o apreciador. Eu acho que seria um crítico de arte, mas nunca um artista. Uma coisa é ter o impacto do belo quando se defronta com ele e outra é criá-lo. Aí está uma dicotomia muito complicada. Na ciência essa dicotomia não é marcada, quer dizer, estamos fazendo a mesma coisa a cada minuto, porque estamos criando no sentido científico, tendo intuições e imediatamente checando. Então você cria e aprecia a cada passo a sua própria criação. O artista também, cria e aprecia, mas exhibe depois. Bem, o cientista também exhibe depois, quando publica o artigo.

OAS – O artista também é um crítico de arte, não? Deve ter o sentido do estético. E o cientista também faz isso pois está criando uma ciência e está, ao mesmo tempo, criticando e divulgando seu trabalho.

OFP – É, mas há uma diferença também... Nos dois se faz divulgação. A comunicação tem que existir, mas a comunicação é intrínseca a toda atividade humana. A religião, que é o outro domínio importante que estamos estudando, também exige comunicação.

OAS – Até que ponto os exercícios da arte, de alguma maneira, influenciaram a sua vida ?

OFP – Não creio que possa dizer que exerci a arte. Sou pouco educado do ponto de vista artístico e aproveito pouco a sensibilidade que poderia ter. Por exemplo, não conheço música clássica bem, não me interesso por balé de jeito nenhum e sou muito exigente. Não vejo que a arte tenha tido um papel importante no meu desenvolvimento. Tenho que a arte, na minha vida, foi episódica. Vou a um chorinho, acho lindo aquilo naquele momento, vibro mas isso não influi na minha vida. Não tenho essa vivência, porque a arte imbuída dentro de si, tem muito mais; vive-se a arte a cada momento, vive-se artisticamente também. E eu tenho uma terrível compulsão pelo racional, entende? Isso me dá certas regalias, mas também me limita. Eu não sou dessas pessoas como, por exemplo, o Rocha e Silva, que era um cientista fantástico e um bom literato.

OAS – Sim, mas o que você vê nele, vejo também em você! Ambos tiveram algum exercício nesse sentido, algo que da minha geração em diante foi se arrebetando, uma formação humanista...

OFP – Na Faculdade de Medicina no Rio de Janeiro, na década de 40, era impressionante o número de catedráticos membros da Academia de Letras e não de Ciências. Lembro-me do Afrânio Peixoto e de uma porção deles que tinha vida científica e artística, literatura principalmente. Isso diminuiu muito e as pessoas estão mais concentradas. Mas há aqueles que têm um interesse generalizado. Darcy Ribeiro, por exemplo, é um pesquisador agitado ; o Chico Buarque, é uma figura que não está só fazendo música... faz romance, teatro.... As pessoas diferem quanto à amplitude dos seus interesses e das suas realizações. Eu não ! Sou dispersivo, mas dentro do meu campo de atuação. Sou dispersivo porque trabalho com genética, trabalho com divulgação científica, com livro didático e com educação de um modo geral. É muita coisa para um cristão só, entende? Trabalho esparramado, não há dúvida alguma, mas dentro de um setor bastante coeso e não chego a criar uma sucursal na arte. Estou falando como alguém que não tem nada com a arte, que está olhando de fora. É a opinião de um cidadão tomado ao acaso.

OAS – Fale-me sobre a sabedoria.

OFP – Acho que existe um aspecto da sabedoria que é o crescimento com a idade. Resulta de você encontrar os problemas mais importantes repetidamente... e então vai se defrontando com eles e tendo muito treino. São problemas comuns da vida e isso vai formando uma doutrina já mais aperfeiçoada do que o jovem, do que da primeira vez. Isso ocorre muito comigo quando vou falar com estudantes e é engraçado! O estudante chega, diz três palavras e já estou vendo onde é que ele vai se estrepar, entendeu? Já sei porque ele vai se estrepar. Isso ajuda muito na didática, porque economiza tempo. Acho que este é um componente muito comezinho, mas importante da chamada sabedoria; quer dizer, é uma situação na qual já se pensou muitas vezes, não tem outro remédio. Por exemplo, eu nunca falei sobre arte e tudo que estou falando agora, nunca conscientemente pensei mas estava dentro de mim. Como é que isso estava dentro de mim? Porque formou-se um cabedal, não? A sabedoria é curiosa por isso, porque é realmente o resultado do pensamento reiterado sobre os mesmos assuntos.

OAS – Um processo cumulativo...

OFP – Cumulativo... exatamente! Ele fica, faz sentido... Só que quando se envelhece, começa-se a perder a memória e, então, os detalhes vão ficando meio suaves ... mas continua o relacionamento. Isso é que é interessante! Uma coisa concatenada com a outra. Estava pensando, nesse sentido histórico, já que a arte é como um subproduto da religião.

OAS – Mas a ciência começou aí, não? Apareceu porque na verdade a religião em muitas situações...

OFP – Pois é, mas a ciência foi estimulada pelo antagonismo com a religião e estou pensando na ciência moderna, a partir do Galileu. A ciência do Aristóteles era o mesmo tipo de ciência mas menos cuidadosa. A religião tem as verdades absolutas e a ciência tem as verdades sempre apenas relativas. A religião, qualquer religião, parte

da conceituação global, ela apresenta uma explicação para a origem do mundo e as regras básicas que são como um chuveiro pingando na atuação diária. A ciência é indutiva e não dedutiva e parte de um fato para depois destrinchar o problema. Usa o problema, depois junta o fato e chega a um princípio de terceira ordem. Depois, com vários princípios, a ciência vai se elevando até chegar a generalizações maiores. É muito interessante, porque garante-se contra o erro primário dos sistemas teológicos, que é partir duma premissa falsa que se elimina com todo o resto. Mas, o que me impressiona na religião, na católica que conhecemos melhor, é notar o esforço tremendo das gerações de teólogos em conformar os textos sagrados com a modernidade, a realidade. É realmente impressionante!

OAS – A última pergunta : o seu projeto de trabalho eu conheço. E qual é o seu projeto de vida?

OFP – Bom, isso não é difícil, é muito simples: gosto de trabalhar no que trabalho, escrever, discutir problemas de educação, problemas de genética e de divulgação científica. As escolhas que faço são feitas por seleção natural... como eu gostava fiquei, cada vez mais treinado nisso e portanto, gostando ainda mais. Meu plano de vida é ser feliz, como tenho sido fantasticamente, sem nenhuma consideração metafísica, é claro. Acho engraçado essa história da significação da vida, que atormenta muita gente. As religiões oferecem respostas a essa pergunta, mas muitos se angustiam achando que não sabem qual é a significação da vida. Mas, muitas vezes, as pessoas não vêem o óbvio! Significação da vida é simplesmente zero, não tem significação! Nós somos o resultado e não a preparação para alguma coisa, só a vaidade doentia do homem é que meteu na cabeça dele que o homem foi feito para alguma coisa. Uma estupidez tamanha! As pessoas pensam que estão aqui para cumprir uma missão! Cumprir coisa nenhuma!!! Estamos aqui por acaso, resultado de uma evolução que deu nisso, num instante histórico entre o antes da espécie humana e o depois do não ter acabado, e aconteceu de você estar aí! Você recebeu sua natureza biológica dos genes de milhões de pessoas e portanto cada um não deu praticamente nada, não é? Os antepassados foram tão sem

objetivo como você é, um listão de descendentes igual a você. Sei que isso torna as pessoas infelizes e o meu conceito de vida é um muito alegre, muito gostoso, porque não tem compromisso com nada. Sou uma vibração de uma gotinha d'água dum rio que está caudaloso e que não tem significação absoluta nenhuma...

OAS – Você é cachoeira...

OFP – ...Nada! Sem graça nenhuma! Posso, portanto, gozar as propriedades biológicas que me foram transmitidas por esse enorme monumento evolutivo e que são prazerosas, porque isso é que é a coisa boa, quer dizer, o normal do indivíduo é ser feliz, porque só é infeliz em caso de crise. A infelicidade é um sentimento que aparece quando o indivíduo sofre com qualquer tipo de dor. O sofrimento é um estado, a dor é adaptativa, embora haja muita dor inútil! Mas uma parte da dor, a sua essência, é um caráter adaptativo. Qual é a minha noção da vida? É essa: reconheço que sei perfeitamente, ao contrário do que todo mundo diz, qual é a natureza humana; sei perfeitamente qual é o significado do homem e do universo e fico felicíssimo de saber isso tudo; tiro um prazer imenso de saber. A grande coisa da vida atual e da ciência, portanto, é ter criado essa fonte de prazer inesgotável, que é saber como as coisas são, satisfazer a curiosidade. Imagine se a gente morre sem saber da existência da seleção natural! Não faria sentido, não é? Mas se você vê aquela beleza, a simplicidade do mecanismo evolutivo comandando o que está por aí, da maneira que como está, percebe-se que oitenta por cento das pessoas de nível cultural médio não tem a menor noção desse fenômeno lindo. Dá vontade de sair pregando a boa nova : “Olha aí pessoal, as coisas evoluem!!!!.. ”.



O campo vai à cidade: o caso do Grupo Escolar Rural do Butantan

André Mota¹

As modificações trazidas pelo republicanismo, em 1889, com o surgimento dos municípios e de suas instituições representantes, configuraram no Estado de São Paulo uma sistemática disputa entre as forças políticas municipais e estaduais. Com o processo de urbanização, o desenvolvimento dos meios de comunicação e todos os elementos modernizantes que deveriam gerar laços de interligação e interdependência, a intensidade desses choques estabelecia cadeias de interesses entre comunidades². Na raiz dessa pendência, havia uma dicotomia entre o interior e a capital, entre pequenos centros rurais e cidades mais populosas. Analisando os elementos que erigiram os novos emblemas de cunho liberal-agrário-exportador, inspirados na transição do trabalho escravo para o trabalho livre na economia cafeeira, Sérgio Buarque de Holanda focalizou duas mudanças que vinham ocorrendo: uma que tendia a alargar a ação das

¹ Doutor em História pelo Depto. de História, FFLCH-USP. Atualmente é bolsista Fapesp (pós doutoramento) no Depto. de Medicina Preventiva da FMUSP, andremot@ig.com.br.

² TELAROLLI, Rodolpho, *Organização Municipal e Poder Local no Estado de São Paulo na Primeira República*. São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História, FFLCH-USP, 1981, p. 24.

comunidades urbanas e outra que restringia a influência dos centros rurais, reduzidos, ao fim e ao cabo, a meras fontes abastecedoras, a colônias das cidades³.

Na mesma direção, havia uma oposição “entre os grandes fazendeiros, moradores dos principais centros urbanos (São Paulo, Santos e Campinas), de um lado, e a lavoura, proprietários de terra, habitantes do interior, de outro”⁴. Por essa hipótese, fundava-se um conflito sistemático entre esses grupos, prevalecendo os interesses do primeiro em detrimento das reivindicações do segundo, com um elemento cuja regularidade na Primeira República patenteava as escolhas feitas: “a ausência sistemática de uma política de crédito que livrasse a lavoura (...) do despotismo dos oligopsônios comerciais.”⁵ (Figura 1).



Figura 1: Fazendeiros, sitiantes e roceiros na “Semana do Fazendeiro”, cidade de Viçosa, 1940. (Acervo: Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

³ HOLANDA, Sérgio Buarque de, *Raízes do Brasil*, São Paulo, Cia. das Letras, 1996, p. 173.

⁴ PERISSINOTO, Renato M., “Classes Dominantes, Estado e os Conflitos Políticos na Primeira República em São Paulo: Sugestões para Pensar a Década de 1920”. In: Helena Carvalho de Lorenzo e Wilma Peres Costa (orgs.), *A Década de 1920 e as Origens do Brasil Moderno*, São Paulo, Unesp/Fapesp, 1997, p. 45.

⁵ *Idem*, p. 49.

Diante dessa tensão, as elites interioranas acusavam o mundo urbano e seus habitantes de “parasitas” que atravancavam o desenvolvimento de suas regiões. Em estudo sobre a oligarquia paulista e suas ideologias, Elias Thomé Saliba⁶ observa um pensamento ruralista dicotômico entre campo e cidade nas idéias políticas e econômicas de Cincinato Braga, para quem a produção cafeeira identificava-se com os interesses nacionais e o camponês era o produtor. Numa posição contrária ao mundo da produção e do trabalho, as classes urbanas teriam o único papel de “consumidoras” e eram reduzidas, por generalização, a “parasitárias”, por dependerem do trabalho do campo⁷. Assim, sob o prisma da desconfiança, parte das elites via “a população das cidades como ‘classes perigosas’, e a cidade como locus da desordem social e política e da improdutividade econômica”.⁸

Por isso, defendia-se a introdução de uma ideologia ruralista para o país, inclusive no plano educacional. Para seus propugnadores, havia a necessidade de se afinarem as vozes em torno de um projeto pedagógico capaz de servir de base à reestruturação do mundo agrário brasileiro⁹, contrapondo-se ao mundo das cidades e a suas instituições educacionais urbano-industriais. Duas finalidades eram defendidas como prioritárias na consecução desse projeto. A primeira seria uma educação capaz de criar vínculos entre o homem do campo e suas origens, evitando-se o êxodo rural: “o ruralismo pedagógico defendia um ensino especificamente rural, com extensão, qualidade, organização, programas e métodos diferentes do ensino ministrado

⁶ Elias Thomé Saliba, *Ideologia Liberal e Oligarquia Paulista: a Atuação e as Idéias de Cincinato Braga, 1891-1930*, São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História, FFLCH-USP, 1981.

⁷ Rodolpho Telarolli, *A Organização Municipal e o Poder Local no Estado de São Paulo*, *op. cit.*, p. 46.

⁸ Luiz Cesar de Queiroz Ribeiro e Aduino Lúcio Cardoso, “Da cidade à nação: gênese e evolução do urbanismo no Brasil”. In: Luiz Cesar de Queiroz Ribeiro e Robert Pechman (orgs.), *Cidade, Povo e Nação. Gênese do Urbanismo Moderno*, Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1996, p. 58.

⁹ ABRÃO, José Carlos. *O educador a caminho da roça: notas introdutórias para uma conceituação de educação rural*. São Paulo, Dissertação de Mestrado, FEUSP, 1982, p. 17.

nas cidades.”¹⁰ A outra finalidade concernia ao plano abstrato da felicidade do homem que vivia no campo, resgatando um “tempo pretérito e original”, onde estaria a chave para os problemas que afligiam o homem do interior, principalmente o “desviante” que foi para a cidade. Esse seria o tempo mitológico da terra benfazeja, “o mito do ‘em se plantando, tudo dá’, que acompanha ou faz parte desse ‘tempo perdido’ que só alguns poucos conseguiram desvendar.”¹¹

Nessa perspectiva, conceituar aquilo que se chama “educação rural”, lembra Abrão, exige considerar a historicidade de sua elaboração e prática, pois essa operação envolve uma adesão a um projeto político e econômico voltado para o meio rural, “implicando uma visão de realidade a ser transformada em que o ‘homem do campo’ é o objeto principal das considerações, envolvendo também uma visão sobre a importância da escola na consecução de objetivos e fins cujos determinantes já estão implícitos na proposta do projeto político-econômico.”¹²

No caso paulista, a década de 1930 foi fortemente marcada pelo ruralismo pedagógico apregoado pelo educador, escritor e político Sud Mennucci. Em 1910, assumia seu cargo de professor numa escola rural de Cravinhos, no interior de São Paulo. Em 1925, foi professor secundarista no Liceu Franco Brasileiro e já em 1930 ajudou a criar o Ginásio Paulistano. Durante o governo Vargas, assumiu três vezes o cargo de diretor do Departamento de Educação, no qual instituiu 18 delegacias de ensino, 104 grupos escolares, 23 ginásios, 15 colégios e 10 escolas normais. Para orientar o ensino rural, procurou criar a Assistência Técnica do Ensino Rural¹³. Pensava que os governos cuidavam das cidades e apenas delas:

¹⁰ PIRES, Veríssimo Lopes. *O ensino de história nas escolas primárias 1940-1950*. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação – USP, 1996, p. 68.

¹¹ ABRÃO, José Carlos. *O educador a caminho da roça: notas introdutórias para uma conceituação de educação rural*, op.cit., p. 18.

¹² Idem, p. 28.

¹³ MOURA, Maria Isabela G. Landell. *A cruzada ruralista: concepções, práticas e estratégias educacionais*. São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História-FFLCH-USP, 2004, p. 15-16.

“(...) dedicando-lhes todo o carinho de que eram capazes e todas as verbas orçamentárias, como se não existisse a interminável campanha brasileira, como se os oito e meio milhões de quilômetros quadrados do território nacional fossem cobertos inteiramente de casas e de ruas e de largos e praças, ou como se a nossa roça continuasse a ser habitada unicamente pelos escravos, que dela haviam fugido vinte anos antes.”¹⁴

Defendia que a única saída para esse abandono do mundo rural estava na introdução de metodologias pedagógicas capazes de retirar o homem do campo de sua ignorância, a partir dos valores do mundo rural. Entre os obstáculos à execução desse projeto, destacava-se a formação do professor. Segundo Sud Mennucci, o ensino rural tinha “na ignorância do professor” seu maior e praticamente único problema, pois a formação urbana e seus propósitos profissionais distanciavam-no de um programa específico a ser implementado. Mais do que isso, não se dava a esse profissional a oportunidade de adquirir os conhecimentos específicos de um ensino essencialmente rural:

“Onde é que os professores iam aprender as cousas novas que o governo lhes estava a exigir? Sim, para ensinar nossas culturas, criação de animais úteis, conhecimento dos animais e vegetais nocivos, moléstias dos animais e vegetais, noções práticas de aboricultura, horticultura e jardinagem, é preciso saber agricultura geral e especial, zootecnia, veterinária. E, para ensinar utilmente um pouco – é axioma velho em pedagogia – é preciso saber muito. Onde iam os professores aprender essas novidades? Nas Escolas Normais Urbanas de onde tinham provindo, de nada disso se cuidara. Nas Normais Urbanas não só é proibido, mas motivo de ridículo falar em agricultura e em zootecnia.”¹⁵

¹⁴ MENNUCCI, Sud. *Pelo sentido ruralista da civilização*. São Paulo, Revista dos Tribunais, 1935. p.21.

¹⁵ Idem, p. 39.

Também para o professor Carneiro Leão, antigo diretor geral de Instrução Pública da Universidade do Distrito Federal, o problema do mestre era o mais grave de todos. Ao observar o currículo formador, notou o professor Leão quanto a cultura urbana se contrapunha à rural ou, melhor, como se contrapunha a “civilidade” à “barbárie”. Eis a mentalidade do professor, ao chegar às zonas rurais do país:

“(...) despeitado, insulado dentro de si mesmo, alheio ao ambiente natural, cultural e social que julga inferior, mediocrizante, hostil, o professor é incapaz de se fazer útil na solução do menor problema da vida de seus alunos, de suas necessidades econômicas ou sociais.”¹⁶

Foi com pendências dessa natureza, que as propostas ruralistas concretizadas em solo paulista foram resumidas às escolas-modelo rurais, “no estilo que os administradores denominavam de movimento renovador”. Eram elas:

“(...) a criação da Escola Normal de Piracicaba; a organização da Sociedade de Amigos de Alberto Torres e da Sociedade Luiz Pereira Barreto, ambas atuando na propagação do ruralismo; a criação de Clubes de Trabalho pela Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio; e o desenvolvimento de algumas experiências de ensino rural, como da Escola Rural da Fazenda da Barra, em Casabranca e a do Grupo Escolar do Butantan.”¹⁷

Uma escola rural na metrópole: o Grupo Escolar Rural do Butantan

Em 8 de fevereiro de 1945, o jornal O Diário de São Paulo festejava os dez anos de ruralização do Grupo Escolar do Butantan. Por decreto de 3 de julho de 1935, sob a assinatura do Secretário da Educação Cantídio de Moura Campos, ruralizou-se o Grupo

¹⁶ LEÃO, A. Carneiro. *A sociedade rural: seus problemas e sua educação*. Rio de Janeiro, Ed. A noite, 1939, p. 283.

¹⁷ PORTO, Maria do Rosário Silveira. *Escola rural: cultura e imaginário*. São Paulo, Tese de Doutorado, FEUSP, 1994, p. 93.

Escolar, então sob a direção da professora Dinorah Círio Chacon. Essa ruralização vinha sendo efetuada havia dois anos, pela professora Noêmia Saraiva Matos Cruz, que, no Congresso de Ensino Regional realizado na Bahia, impressionava os congressistas com o relato e o documentário de suas atividades ruralistas. Ao assumir a direção da escola, em setembro de 1935, essa educadora pôs em marcha seu projeto, até 1943, quando foi nomeada Inspectora do Ensino Rural do Governo Federal.

Para O Diário de São Paulo, a saída de Noêmia Cruz não desanimou as professoras, que continuaram no Grupo Escolar desenvolvendo os ensinamentos ruralistas da antiga diretora:

“(...) a professora Laudicena Colaço, que lhe sucedeu, traçou diretrizes seguras para o desenvolvimento de suas atividades. Duas professoras – Maria Josefina Kuhlmann e Dinah Cacondede de Freitas – que já possuíam bagagem de conhecimento e prática adquiridos no próprio grupo, foram alunas mais capazes do Curso de Especialização de Pinhal, de onde voltaram com a orientação segura para as lides do ensino rural.”¹⁸

Até 1932, a região do Butantã tinha alguns núcleos escolares, inclusive o Grupo Escolar do Butantan, sediado na fazenda onde ficava o já famoso Instituto Butantan. Em 1933, Afranio do Amaral, diretor do Instituto e incentivador do projeto, viu na criação de uma escola de cunho rural a possibilidade de um centro formador para futuros funcionários seus:

“A fim de atender as suas urgentes necessidades de preparar pessoal técnico habilitado sob orientação definida desde os bancos escolares e dentro de uma atmosfera de disciplina e de amor ao trabalho, esta diretoria prosseguiu no seu plano de facilitar as atividades do Grupo Escolar que, de acordo com a Diretoria Geral de Ensino, instalou em um de seus prédios e

¹⁸ O Diário de São Paulo, São Paulo, 08/02/1945, p. 6.

*onde recebem instrução primária cerca de 400 crianças, cuja maioria pertence às famílias de funcionários do Instituto.*¹⁹

Na perspectiva traçada por Sud Mennucci, coube ao governo permitir a efetivação do ensino rural ao Grupo Escolar do Butantan, através das disposições do decreto no 6.047, de 19 de agosto de 1933.²⁰ Segundo a professora Noêmia Cruz, houve um convite para que ela fosse “trabalhar no novo Grupo Escolar de Butantan, criado especialmente para nele se instalar a Escola Primária Rural.” Esse chamado veio do Diretor de Ensino, Sud Mennucci, aconselhando “nas suas obras magníficas de educação e sociologia, a importância do ensino rural em São Paulo.”²¹

Como a maior entusiasta, Noêmia Cruz mobilizou-se no sentido de ganhar profissionalmente os dotes educativos e científicos para a formação de um “verdadeiro” professor de escola rural, o que lhe valeu uma carreira meteórica – em 1932, era professora primária; em 1934, ativa participante do 1o Congresso de Ensino Regional na Bahia; em 1935, diretora da Escola Rural do Butantan, e em 1939, era já representante do Estado de São Paulo no Congresso de Ensino de Minas Gerais. Foi ali que recebeu o desafio de organizar o ensino rural de Juiz de Fora, o que lhe valeu o cargo federal de Inspectora do Ensino Rural. Ainda assumiu a chefia da Assistência Técnica do Ensino Rural e a Superintendência da Escola Profissional e Agrícola, onde requereu sua aposentadoria.

No registro de suas aulas, vê-se que criava uma complexa rede de temas e posturas que articulavam conhecimento do mundo do trabalho rural, patriotismo e higiene eugênica, com significados dos mais variados teores, que seria impossível inscrever numa esfera única. O discurso e a meta da professora Noêmia era construir rigorosamente o modelo escolar rural. Já seus resultados mostram que não estava

¹⁹ AMARAL, Afranio. Relatório Anual do Instituto Butantan, 1933, p. 16.

²⁰ Idem, *ibidem*.

²¹ CRUZ, Noemia Saraiva de Matos. *Educação rural: uma aplicação de Ensino Rural na Escola Primária do Grupo Escolar de Butantan*. Rio de Janeiro, Editores J. R. Oliveira, 1936, p. 21.

em jogo apenas uma tática pedagógica, mas uma visão de mundo em que o conhecimento de técnicas agrícolas e higiene deveria acarretar a própria redenção da nação brasileira. (Figura 2).



Figura 2: Curso voltado para o ensino rural na cidade de Viçosa. Despedida da Inspetora Federal de Ensino Rural, Noêmia Mattos Cruz (ao centro), 1940. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

Nesse contexto, podemos acompanhar alguns de seus movimentos na busca da legitimidade e do nível esperado de um professor tão especial. Sobre o início dessa formação, ela mesma lembrou:

“(...) não havendo em São Paulo organizado um curso especial onde eu pudesse aprender tudo de que precisava, para transmitir aos meus alunos, procurei, eu mesma, traçar um plano de aprendizado, não só teórico, mas, sobretudo prático e in loco, nos diversos departamentos paulistas da Secretaria da Agricultura, que passei a freqüentar.”²²

²² CRUZ, Noêmia Saraiva de Matos. *Educação rural: uma aplicação de Ensino Rural na Escola Primária do Grupo Escolar de Butantan*, op. cit., p. 22.

Assim, Noêmia Cruz foi aluna e observadora do Curso de Criadores, de Avicultura, de Apicultura e Laticínios no Instituto Biológico. Logo depois, matriculou-se, através da Diretoria de Indústria Animal do Parque da Água Branca, no Curso de Capatazes, onde cursou as matérias de Laticínios, Apicultura, Sericultura, Piscicultura, Zootecnia Geral e Veterinária. Ainda fez vários estágios: no Instituto Biológico, nas seções de Entomologia, Fitopatologia e Botânica; na Escola Agrícola Luiz de Queiroz em Piracicaba; no Instituto Agrônomo de Campinas e na Fazenda Santa Elisa, onde adquiriu conhecimento e conselhos na área de Agricultura.

Citem-se ainda os cursos da Escola Normal – Higiene, Educação Sanitária e Puericultura – e principalmente os do Instituto de Higiene de São Paulo, como educadora sanitária – Puericultura, Alimentação, Enfermagem, Epidemiologia e Socorros de Urgência. Sublinhe-se que o Instituto visava estimular campanhas sanitárias nas escolas e coletividades, com o manifesto projeto de regeneração racial²³ a partir de ações educativas e higienistas em áreas consideradas rurais.

Esse projeto ia ao encontro das pretensões ruralistas da professora Noêmia, pois sua cruzada sanitária e educativa se aproximava do ideal de remodelação do homem do sertão e de sua comunidade. O futuro promissor expresso no emblema estampado no diploma das educadoras sanitárias foi de grande valor para seus objetivos; dizia: “A educação sanitária semeia, a raça colherá seus frutos.” Para Rocha, essa máxima simbolizava:

“(...) a farta colheita de uma raça redimida do pecado da miscigenação. Sob o brilhante e resplandecente sol da saúde, cabia às educadoras sanitárias, qual jardineiras, preparar terreno e semear a consciência sanitária, regenerando para o trabalho um povo que, como Jeca Tatu, mourejava, vítima da própria ignorância e incúria.”²⁴

²³ Sobre o discurso médico-eugênico paulista acompanhar: MOTA, André. Quem é bom já nasce feito: sanitarismo e eugenia no Brasil. Rio de Janeiro, DP&A, 2003.

²⁴ ROCHA, Heloísa Helena Pimenta. *A higienização dos costumes*, São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação-USP, 2001.p.184

Como se depreende facilmente, Noêmia Cruz esperava de toda essa formação a inversão dos conhecimentos didáticos oficiais até então aplicados nas escolas rurais, desenvolvendo uma metodologia própria e, por mais que se tentasse negá-lo, pautada numa formação urbana e higienista. Para Demartini, no Dicionário de Educadores no Brasil, Noêmia Saraiva de Mattos Cruz foi capaz de se projetar exatamente “pela experiência inovadora que desenvolveu com base nas propostas do ruralismo pedagógico. Mulher da cidade grande, Noêmia se dizia de ‘alma ruralista’.”²⁵ Contudo, uma maior aproximação de seu cotidiano pedagógico revelará uma nítida articulação educacional, política e científica, representando valores nacionais de progresso, avanço civilizatório e racial. Em seu próprio livro, escrito com a intenção de “ensinar” sobre o dia-a-dia de uma escola rural, idéias, concepções e estratégias didáticas mesclam-se à sua classe social original e à sua visão política sobre quem eram o Brasil e o brasileiro ideais. (Figura 3).



Figura 3: Livro publicado por Noêmia Mattos Cruz sobre o ensino ruralista. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

²⁵ DEMARTINI, Zeila de Brito. Noêmia Saraiva de Mattos Cruz (verbete) In: FÁVERO, Maria de Lourdes e BRITTO, Jader de Medeiros. *Dicionário de Educadores no Brasil*. Rio de Janeiro, EdUFRJ/MEC/INEP, 2002, p. 856.

Entre as diversas atividades desenvolvidas no Grupo Escolar do Butantan, algumas são particularmente significativas dos objetivos traçados para o ensino rural. Assim, longe de abranger tantas dimensões, vamos apenas flagrar alguns aspectos dignos de atenção, como a chegada da professora Noêmia Cruz à 4ª série. Inspirada no modelo norte-americano dos clubes de jovens agricultores e criadores, ela imprimiu mudanças importantes na história da instituição, fundando, já em 19 de novembro de 1933, o Clube Agrícola Escolar. Esse Clube facilitou a implementação das primeiras diretrizes pedagógicas do ruralismo, sem interferir nas práticas pedagógicas do ensino urbano. Para Noêmia Cruz, “esse clube teria o fim especial de propagar o amor à natureza e de ensinar aos sócios atividades agro-pecuárias nos terrenos do Grupo”²⁶. Através dele, ela organizou os alunos e as atividades a serem realizadas. Um pouco mais tarde, como diretora do Grupo Escolar, incorporou todos os alunos a essas atividades, ao mesmo tempo em que suprimiu as “disciplinas urbanas”. O aprendizado viria da prática agrícola e de suas necessidades – do português à matemática, da história à geografia (Figura 4):

“(...) não basta alfabetizar, ensinar a dizer que o Brasil foi descoberto por acaso (...) que tem 8,5 milhões de quilômetros quadrados, que é maior que este ou aquele país (...) Não basta decorar lições, histórias e teorias, deixando a criança presumida, árida e indefesa. Não! O Brasil não deve ser um ‘vasto hospital’, como o chamou um dos nossos higienistas, nem um país de incapazes e teóricos. Mas, sim, um grande país com educação, organização, habitado por homens fortes que cultuem seu amor, semeando e colhendo, tornando rica, livre e feliz a sua pátria – não só nas cidades, mas principalmente no campo, na roça, de onde nos vem tudo!”²⁷

²⁶ CRUZ, Noêmia Saraiva Mattos, op.cit. p. 27.

²⁷ Idem, p. 82-83.



Figura 4: 1a. diretoria do Clube Agrícola, 1933. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

Foi assim que a professora pôs em pauta as atividades rurais a se desenvolverem, primeiro, pelos membros do Clube e, mais tarde, por todos os alunos do Grupo Escolar: horticultura, floricultura, avicultura, cunicultura, apicultura, roças de milho, feijão, soja, trigo, arroz, aveia, centeio e cevada. Também se desenvolveram técnicas em pomicultura, silvicultura, plantas medicinais, ornamentais e forrageiras. Os “alunos-produtores” eram avaliados pelas atividades desenvolvidas e os resultados de sua produção. Na carteirinha do Clube, “de cartolina amarela e escrita de verde (cores nacionais), os alunos que mais se destacavam tinham o seu retrato na carteira.”²⁸ Para os ganhadores de concursos e gincanas, a professora registrava em sua câmera fotográfica o “instante do campeão” (Figura 5).

²⁸ Idem, p. 42.



Figura 5: Imagem do aluno campeão de um Concurso de Aves da Escola Agrônômica de Piracicaba. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

Mas, entre as atividades práticas, outras estratégias pedagógicas supriam as necessidades formativas dos alunos. Entre os raros materiais didáticos adequados aos propósitos do ensino ruralista, havia um livro de leitura obrigatória – *Saudade*, um didático escrito em 1920 por Thales de Andrade²⁹ –, em que se elogiava abertamente a vida campesina, que se considerava superior à urbana: “o pobre da roça era um nababo comparado com o pobre da cidade.”³⁰

Para a professora Noêmia, esse era um manual de grande ajuda para a prática de leitura e o aprendizado dos valores ruralistas; por isso, seus alunos logo receberam exemplares. Em 231 páginas, o autor narra a história de Mario, um menino que viu com tristeza sua família vender a fazenda onde morava para ter

²⁹ Além desse, escrito para os 3º e 4º anos, encontramos entre suas produções a cartilha *Ler brincando*, os livros de leitura para o 2º ano do Grupo Escolar, *Vida na roça* e *Espelho*, e, para o 3º ano, *Trabalho*.

³⁰ MENNUCCI, Sud. *Pelo sentido ruralista da civilização*, op.cit. p. 45.

“a boa vida” da cidade. No entanto, ao contrário do que se esperava, a vida da cidade começou a empobrecê-los e, com o tempo, o sr. Raimundo, pai de Mario, vai trabalhar num escritório com um pequeno salário.

Esse “desvio de conduta” – como se apresenta a escolha do pai de Mario – liga-se ao discurso ruralista, que parte do princípio de que o homem do campo é um desajustado num sistema incapaz de colocar a terra como fator essencial de sustentação de riqueza para si, sua família e seu país. Assim, o discurso se volta para os trabalhadores rurais, que “não souberam” extrair da terra as oportunidades de seu “progresso e riqueza”³¹. Foi dessa constatação que o sr. Raimundo resolveu voltar com sua família para o campo, comprando um sítio em Capão Bonito, e Mário vai para uma escola rural³².

Esse homem bucólico, descrito tão caprichosamente, revela um outro elemento mitológico na construção da imagem do homem do roça: “o homem que vive no e do campo se realiza melhor como ser humano do que aquele que vive na cidade.” A escola agrícola não levava ao ensino superior, mas, para aqueles que quisessem se especializar “nas coisas do campo”, o ensino técnico era uma alternativa que São Paulo já poderia dar. A Escola Agrícola Luiz de Queiroz era citada como a instituição-modelo, lugar em que Mario finalizaria sua formação e ganharia seu futuro.

Exemplos como os apresentados eram emblemáticos para o esforço da educadora em tentar equacionar o “grande problema nacional” – a vida do homem do campo e sua formação. A seus objetivos originais, o Grupo Escolar do Butantan acrescentava a preparação do aluno “para a vida, educando seu coração no amor a Deus, à Pátria e a seus semelhantes”, em nome do que tentava introduzir uma “nova mentalidade nacionalista e rural”, contrapondo-se aos “decadentes” valores urbanos. “Tenho posto minha dedicação sincera a serviço duma causa que julgo patriótica e de

³¹ PORTO, Maria do Rosário Silveira. Escola rural: cultura e imaginário, op. cit., p. 49.

³² ANDRADE, Thales de. *Saudade*. São Paulo, Ed. Nacional, 1920, p. 73.

largos benefícios para a nacionalidade” – afirmava Noêmia Cruz, quando já era considerada uma referência em sua área.

Os limites da educação rural

Buscando conhecer a vida da “naçãozinha rural do Butantan” em outras fontes³³, notaremos que as demandas de um espaço escolar ruralizado em plena cidade de São Paulo acarretaram dinâmicas nem sempre referidas pela professora ou por seus apoiadores. Por esse viés, as ações destinadas a concretizar o projeto educacional ruralista obtiveram poucos resultados, até que as mudanças ocorridas em 1952 estenderam o tema ao âmbito nacional³⁴. Aproximando-se das escolas primárias no Estado de São Paulo, inclusive as rurais, a historiadora Circe Bittencourt constatou um quadro precário de ensino nas décadas de 1920 e 1930. Exemplarmente, a partir de 1928, os grupos escolares funcionavam em três períodos, como solução de emergência, alegadamente em função dos “altos custos das construções escolares, acabando o governo por optar, em nome de um atendimento mais extensivo, por medidas que comprometiam as propostas pedagógicas anunciadas pelos programas de ensino”³⁵.

No caso das escolas rurais, a situação era muito mais problemática. Em 1936, segundo o Diretor Geral de Ensino, Amadeu Mendes, eram 700 mil crianças em idade escolar que habitavam a zona rural, e 130 mil as que podiam se matricular. Segundo Bittencourt, não eram todas as 130 mil crianças que estavam matriculadas oficialmente, mas apenas algo em torno de 70 mil, sem se considerarem os índices de evasão e repetência.

³³ Acompanhar em: KALÓ, Leila Juliette. A reconstrução da escola no meio rural: discursos em confronto. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação – USP, 1997. THERRIEN, Jacques e DAMASCENO, Maria N. (orgs.) Educação e escola no campo. Campinas, Papirus, 1993.

³⁴ BARREIRO, Iraide Marques de Freitas. Cidadania e educação rural no Brasil: um estudo sobre a Campanha Nacional de Educação Rural (1952-1963). São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação- USP, 1997.

³⁵ BITTENCOURT, Circe Maria F. Pátria, Civilização e trabalho: o ensino de história nas escolas paulistas 1917-1939. São Paulo, Ed. Loyola, 1990, p. 98.

Mas a evasão e a repetência também tinham vínculos com o trabalho infantil, expediente usual nas áreas rurais. Mesmo proibido pela lei de 1934, esse tipo de trabalho era comum e pouco fiscalizado. O resultado era a acusação de professores e diretores aos pais, os responsáveis pela exploração do trabalho infantil. Embora sem ações efetivas, essa realidade era discutida com referências à organização regional do trabalho e à agenda escolar, e as pendências do ensino rural ficavam cada vez mais profundos e preocupantes para as autoridades educacionais³⁶.

Em estudo realizado pela Diretoria de Ensino do Estado em 1936, o número de crianças em período escolar no Butantan era de 1943, o que acusava a falta de 28 salas de aula. Quando surgiu, o Grupo Escolar do Butantan falava em 400 crianças matriculadas, o que supunha que a grande maioria estivesse fora do projeto escolar e ruralizador. Esse número se completa no próprio balanço da Diretoria de Ensino sobre as crianças sem escola em toda a capital:

“Só na cidade de São Paulo, calculamos em 18.000 o número de crianças em idade escolar que não conseguem matrícula nos estabelecimentos de ensino primário, quer públicos, quer particulares. Nas cidades e distritos do estado todo, haverá aproximadamente 100 mil crianças em iguais condições.”³⁷

Além de não conseguir atingir sua meta civilizatória para todas as crianças em idade escolar, O Grupo Escolar do Butantan enfrentava outras questões em seu dia-a-dia, que interferiam em suas ações educativas de maneira profunda a às vezes determinante. Apesar de não se notarem esses percalços nos relatórios, artigos e fotografias de Noêmia Cruz, eles se diluem entre os sorrisos dos alunos sempre perfilados, representando um grupo regenerado pelas mãos puras da natureza e por aqueles que trabalhavam diretamente com ela (Figura 6).

³⁶ Idem, p. 109.

³⁷ *Novos prédios para grupos escolares: estudos da diretoria de ensino e da diretoria de obras públicas*. São Paulo, Secretaria dos Negócios da Educação e da Saúde Pública, 1936, p. 18.



Figura 6: “Temos a alegria de apresentar o resultado de nosso trabalho!!!!” Versão da professora Noêmia para uma imagem não tão alegre. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz e Instituto Butantan).

Um caso muito particular foi a relação estabelecida entre a escola e o Instituto Butantan. Aquela encontrava-se nos domínios e na esfera institucional deste, confundindo-se suas expectativas e necessidades. O projeto da escola de arborização do Butantan foi expressivo. Em seu caderno de anotações, a professora Noêmia Cruz registra “o recebimento de algumas enxadas velhas do Instituto, o que levou a pedir emprestadas para os pais dos alunos, e o recebimento do Horto Florestal de 263 mudas”, revelando que seu projeto inicial era fazer arborizar a região da Fazenda Butantan pelos membros do Clube Agrícola Escolar, que receberiam material suficiente para isso e as plantariam nos quintais e terrenos baldios. Porém, logo abaixo de sua relação de mudas, ela faz uma observação que parece frustrar-lhe planos: “a pedido do dr. Waldemar Pecholt,

botânico do Instituto, foram ofertadas ao Instituto 116 mudas”³⁸. O recebimento de cada uma das 147 mudas restantes foi documentado e assinado por cada um dos 129 alunos do Clube.

Assim foi também o pedido feito por ela, com a intervenção do sr. Rafael Xavier, do Ministério da Agricultura, ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro, de sementes de diversas árvores e plantas medicinais. Foram enviados 25 tipos sementes de diversas espécies e, “a pedido”, entregaram-se 15 tipos ao Instituto, com a observação: “atendendo ao pedido do sr. Waldemar Pecholt, da seção de Botânica (plantas medicinais) do Instituto, foram ofertadas as sementes de abio, ipê, pau d’arco, abricó do Pará, pérola vegetal, pau rei, malvácea, hernandia guayensis, bacopari, imburi, arica, anda-assu, cumaru, évea brasileira, óleo-vermelho.”³⁹ Fosse por uma mudança de planos ou pela redução de um projeto mais abrangente, o fato era que a execução do projeto educacional ruralista tinha limites bem claros. A “civilização rural” que se tentava construir não se podia esconder em seu “tempo mitológico da terra benfazeja”, sobretudo com um Instituto de pesquisa que vivia nos anos de 1930 dias turbulentos e que afetavam a escola direta e indiretamente (Figura 7).

Entre 1936 e 1937, a idealização do mundo rural, feita por meio de fotografias ou narrativas, escondia um outro quadro, mais dramático e perturbador, cuja compreensão exige que se acompanhe um debate na Assembléia Legislativa de São Paulo – uma série de denúncias de ordem administrativa, financeira e moral contra Afranio do Amaral, diretor do Instituto, afastado pelo governador do Estado em 1937. Entre os fatos arrolados, alguns envolviam o Grupo Escolar Rural do Butantan.

O primeiro deles referia-se à construção de um pavilhão especial para trabalhos com o tifo exantemático, uma doença infecciosa, onde o dr. Amaral teria feito congregarem-se outras atividades, pondo em risco os que freqüentavam o local. Segundo o deputado padre Abreu:

³⁸ CRUZ, Noêmia Saraiva Mattos. *Livro de registros das árvores*. São Paulo, 1934. (manuscrito)

³⁹ Idem.



Figura 7: A “Festa das árvores” e a participação do Grupo Escolar Rural do Butantan, 1939. (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz-Instituto Butantan).

“Ainda no porão desse mesmo pavilhão, onde se esteriliza material contaminado de vírus de tifo exantemático, Afranio do Amaral ordenou a instalação da seção de botânica médica, de fotografia e gabinete dentário para o uso das crianças do Grupo Escolar do Butantan, sujeitando todo esse pessoal aos riscos de uma contaminação, além do perigo da intoxicação pelo gás dos aparelhos de esterilização ali instalados sem requisitos técnicos.”⁴⁰

Outra denúncia tratava do relato de alguns funcionários, que diziam ser uma prática do diretor encarcerar “pessoas não desejáveis”, como forma de punição:

“(…) existe no Butantan um grupo de celas para a fermentação de lixo (esterqueiras). Aproveitou-as o dr. Afranio para a prisão

⁴⁰ ABREU, padre. *A odiosa solução de um inquérito. Danos de ordem moral e material praticados pelo Sr. Afranio do Amaral, mantido no posto que vinha desonrando*. Pronunciamento na Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo em 29/09/1936. São Paulo, Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 1936, p. 30.

*de vítimas de seus ódios pessoais. Nelas encarcerou uma de-
mente moradora nas vizinhanças do Instituto e o mesmo prati-
cou depois com outros indefesos moradores dos arredores.*”⁴¹

No mesmo capítulo, mencionam-se os alunos do Grupo Escolar:

*“(...) prosseguindo em tais arbitrariedades, prendeu mais tar-
de, nas mesmas câmaras de fermentação, três filhos menores
do funcionário Francisco Campos, tendo sido, por esse motivo,
ameaçado de morte pelo progenitor dos referidos menores.*”⁴²

O livro de registro de atividades do Clube Agrícola de d. Noêmia continha os nomes e endereços de todos os alunos, inclusive os de dois filhos do sr. Francisco Campos – Eunice César Campos e Paulo Isidoro César Campos. No mesmo livro, confirmam-se as atitudes punitivas de Afranio do Amaral, ao “castigar, da mesma forma, um filho de outro funcionário, A. Theophilo Martins”. No entanto, diante da atitude de ameaça do funcionário, o diretor do Instituto não teria levado sua ação às últimas conseqüências.⁴³ De alguma maneira, esse fato chegou ao conhecimento de d. Noêmia, pois constava em seu “livro de registros” o nome de Arthur Teófilo Martins, matriculado na 4ª série e sócio do Clube Agrícola do Grupo Escolar.

Todos esses “casos” envolvendo o cotidiano escolar obstavam às aspirações de d. Noêmia de trazer “os tempos áureos do mundo rural” a uma escola com esse perfil. Mesmo sendo uma escola especial e para poucos, era obrigada a dialogar com o mundo urbano e as instituições ligadas à capital e, mais que isso, a dar respostas que o momento exigia no plano educacional brasileiro. O aprendizado que ela acumulara nas instituições por que passou atestava seu empenho em dominar as técnicas e aplicá-las com o primor. É dela mesma o reconhecimento desse empreendimento, quando se aproximou do

⁴¹ Idem, p. 42.

⁴² Idem, ibidem.

⁴³ Idem, ibidem.

governo de Getúlio Vargas e mostrou as imagens de um “pequeno exército” de meninos e meninas de “todas as raças”, construtores de uma nova mentalidade rural, civilizada e patriótica.

Ao perceber nas imagens enviadas os símbolos de uma “nova nacionalidade”, os órgãos oficiais do governo getulista ajudaram a divulgar o agora Grupo Escolar “Rural” do Butantan, tão representativo da elevação da pátria e de como cuidar das coisas do campo por meio da disciplina e do trabalho. Em 1939, a escola de Noêmia Cruz era um exemplo nacional de uma escola rural das aspirações estadonovistas. Para isso contribuiu o balanço do professor Carneiro Leão sobre a educação no meio rural, para quem no Brasil apenas três escolas rurais funcionariam dentro dos “critérios ruralistas”: a Escola Regional de Meriti, estabelecimento-modelo fundado e mantido pelo esforço de Amanda Álvaro Alberto, a Escola Rural Alberto Torres, em Pernambuco, e o Grupo Escolar do Butantan, em São Paulo.⁴⁴

A partir de uma carta enviada por Noêmia Cruz, a revista *Nossa Terra*, então vinculada ao Ministério da Agricultura, publicou uma matéria divulgando o trabalho realizado na Escola Rural do Butantan. O conteúdo da carta levou a um tratamento especial, e as imagens que ilustraram o texto da revista foram todas tiradas dos álbuns da própria d. Noêmia. Assim se exaltavam a escola e o trabalho da diretora (Figura 8):

“(...) tal como fez em seu último número em relação ao Grupo Escolar de Batatais, São Paulo, divulga Nossa Terra, agora, interessantes fotografias tomadas em torno das fainas agrícolas a que se entregam os alunos do Grupo Escolar do Butantan, no mesmo Estado, e cuja direção se acha confiada à professora Dona Noêmia Saraiva Mattos Cruz. São alguns quadros verdadeiramente empolgantes.”⁴⁵

⁴⁴ LEÃO, A. Carneiro. *A sociedade rural: seus problemas e sua educação*, op. cit., p. 290.

⁴⁵ *Revista Nossa Terra* (Ministério da Agricultura). Rio de Janeiro, no.7,1939.p.8



Figura 8: O “pequeno exército” do Grupo Escolar Rural construindo a nação com seu trabalho (Acervo Noêmia Saraiva Mattos Cruz e Instituto Butantan).

O impacto das imagens e do teor da carta de d. Noêmia valeram-lhe uma outra inserção na Revista:

“Novas fotografias interessantíssimas estampam no presente número de Nossa Terra relativamente à educação agrícola pela escola rural. São diferentes aspectos de cultivos e criações feitos pelos alunos do Grupo Escolar Rural do Butantan, no Estado de São Paulo, e dos quais já nos temos ocupado em números anteriores.”⁴⁶

E também uma carta do Ministro da Agricultura, Fernando Costa:

⁴⁶ *Revista Nossa Terra* (Ministério da Agricultura) . Rio de Janeiro, nº 8, 1939, p. 13.

“(...) tenho a grata satisfação de acusar o recebimento de sua atenciosa remissiva, acompanhada de interessantes fotografias tiradas no Grupo Escolar Rural do Butantan do qual V.S. é digníssima diretora. As referidas fotografias, que mandarei publicar na revista deste ministério, Nossa Terra, provam que o espírito feminino, usando da influência que exerce sobre as crianças, ensinando-as de maneira interessante e divertida, contribui eficientemente para o fim que almejamos. Satisfeito por ver em V.S. uma adepta fervorosa do censo rural no Brasil, faço votos para que o Grupo Escolar do Butantan continue no seu propósito de preparar o espírito dos futuros homens que irão trabalhar para o engrandecimento do país. Prevaleço-me do ensejo para apresentar a V.S. os meus protestos de consideração e apreço. – Fernando Costa.”⁴⁷

Como vimos, o Grupo Escolar do Butantan alçou um lugar de importância indiscutível na defesa de um ensino ruralista no Brasil, numa tentativa de barrar valores urbanos cada vez mais dominantes, principalmente em São Paulo. A trajetória de Noêmia Saraiva Mattos Cruz, em sua incansável luta para implementar tal visão, foi reconhecida pelo governo getulista como capaz de congregiar os valores rurais e nacionalistas impetrados pelo Estado. A “alma ruralista” da professora Noêmia, responsável pela concretização de suas intenções profissionais, esteve profundamente marcada por tecnologias urbanas e modernizantes, atreladas a uma ideologia nacionalista e de revigoreamento racial. Sua “paulistanidade” era incontestada, na medida em que abraçou um projeto nacional em solo paulista. Mais uma vez, uma “bandeirante de estirpe e com alma ruralista” tentou projetar num Grupo Escolar o sonho de construção de uma nova nação brasileira.

⁴⁷ Idem.

Fontes

Abreu, Pe. *A odiosa solução de um inquérito. Danos de ordem moral e material praticados pelo Sr. Afranio do Amaral, mantido no posto que vinha desonrando*. Pronunciamento na Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo em 29/09/1936. São Paulo, Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 1936.

Amaral, A. *Relatório Anual do Instituto Butantan*, 1933.

Cruz, N. S. M. *Livro de registros das árvores*. São Paulo, 1934. (manuscrito).

_____. *Educação rural: uma aplicação de Ensino Rural na Escola Primária do Grupo Escolar de Butantan*. Rio de Janeiro, Editores J.R.Oliveira, 1936.

Diário de São Paulo, São Paulo , 08/02/1945.

Leão, A . Carneiro. *A sociedade rural: seus problemas e sua educação*. Rio de Janeiro, Ed.A noite, 1939.

Mennucci, S. *Pelo sentido ruralista da civilização*. São Paulo, Revista dos Tribunaes, 1935.

Novos prédios para grupos escolares: estudos da directoria de ensino e da directoria de obras públicas. São Paulo, Secretaria dos Negócios da Educação e da Saúde Pública. 1936.

Revista Nossa Terra. Rio de Janeiro, no.7, 1939.

Revista Nossa Terra. Rio de Janeiro, no.8, 1939.

As imagens apresentadas no presente artigo fazem parte do Acervo Iconográfico do Instituto Butantan.

Referências Bibliográficas:

ABRÃO, J. C. *O educador a caminho da roça: notas introdutórias para uma conceituação de educação rural*. São Paulo, Dissertação de Mestrado, FEUSP, 1982.

BARREIRO, I. M. de F. *Cidadania e educação rural no Brasil: um estudo sobre a Campanha Nacional de Educação Rural (1952-1963)*. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação- USP, 1997.

- BITTENCOURT, Circe Maria. *Pátria, civilização e trabalho: o ensino de história nas escolas paulistas 1919-1930*. São Paulo, Loyola, 1990.
- DEMARTINI, Z. de B. Noêmia Saraiva Mattos Cruz. In FÁVERO, Maria de Lourdes e Britto, J. de M. *Dicionário de educadores no Brasil*. Rio de Janeiro, EdUFRJ-MEC-INEP, 2002.p.854-859
- HOLANDA, S. B. de. *Raízes do Brasil*, São Paulo, Cia. das Letras, 1996.
- KALÓ, L. J. *A reconstrução da escola no meio rural: discursos em confronto*. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação – USP, 1997.
- MOTA, A. *Quem é bom já nasce feito: sanitarismo e eugenia no Brasil*. Rio de Janeiro, DP&A, 2003.
- MOURA, M. I. G. L. *A cruzada ruralista: concepções, práticas e estratégias educacionais*. São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História-FFLCH-USP, 2004.
- PERISSINOTO, R. M., “Classes Dominantes, Estado e os Conflitos Políticos na Primeira República em São Paulo: Sugestões para Pensar a Década de 1920”. In: Helena Carvalho de Lorenzo e Wilma Peres Costa (orgs.), *A Década de 1920 e as Origens do Brasil Moderno*, São Paulo, Unesp/Fapesp, 1997.
- PIRES, V. L. *O ensino de história nas escolas primárias 1940-1950*. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação – USP, 1996.
- PORTO, M. do R. S. *Escola rural: cultura e imaginário*. São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação - USP, 1994.
- ROCHA, H. H. P. *A higienização dos costumes*, São Paulo, Tese de Doutorado, Faculdade de Educação - USP, 2001.
- SALIBA, E. T. *Ideologia Liberal e a oligarquia paulista: a atuação e as idéias de Cincinato Braga, 1891-1930*. São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História, FFLCH-USP, 1981.
- TELAROLLI, R., *Organização Municipal e Poder Local no Estado de São Paulo na Primeira República*. São Paulo, Tese de Doutorado, Depto. de História, FFLCH-USP, 1981.
- THERRIEN, J. e Damasceno, M. N. (orgs.) *Educação e escola no campo*. Campinas, Papyrus, 1993.