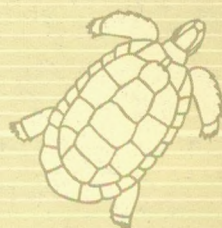
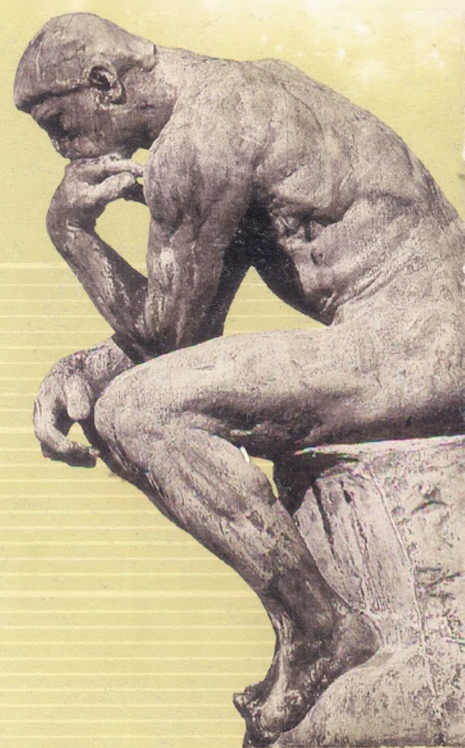


# Humanidades

B I O L O G I A



FAZENDO  
LIVROS  
E REPRODUZINDO  
IDÉIAS.  
É ASSIM QUE  
DIVULGAMOS  
NOSSO  
TRABALHO.



[ Airton Lugarinho – editor executivo ]

## Desde muito longe...

Silêncio...

Ainda não havia ouvidos para ouvir!

Escuridão...

Ainda não havia olhos para ver!

Diretamente da obscuridade se foi estabelecendo, aos poucos, a luz nos olhos daqueles pequenos seres que estavam povoando o Mundo mais e mais. Agora já era possível ficar mais ereto do que aqueles poucos seres peludos, que às vezes eram encontrados vagando pelos campos, em busca de uma caça que ficava sempre mais difícil. Essa pequena fagulha que lampejava intermitentemente parecia ser a responsável pela identidade que sentiam na feiúra daqueles recurvados animais. O lampejo luminoso não era suficientemente forte para iluminar a evolução, mas era para elevar suas cabeças acima da simples curiosidade e passar, então, a conviver com a dúvida. Esse fato levou aqueles seres um pouco adiante de todos os outros que os haviam antecedido. Mas, também, foram os iniciadores da especulação, que se tornaria científica, e os primeiros a fazer a pergunta fundamental:

– Por quê?

Eles iniciaram os caminhos da Ciência com todas as responsabilidades, perigos, vantagens e profecias que o conhecimento traz à espécie que o adquire. A Inteligência, já manifesta, elevaria os desejos e os relacionamentos dessa espécie emergente com todas as outras criaturas já existentes. Suas interações e conquistas foram sendo colocadas lado a lado, em uma estrada espaço-temporal de difícil acesso em cujo final surge a certeza de que fazer ciência é manipular o anárquico, ordenar o caos... sofrer por não conseguir, mas regozijar-se por tentar!

A evolução criou seres ímpares. Somos os únicos – neste planeta – que buscam as próprias origens. Somente os homens estão



**40 anos**

Editora Universidade de Brasília

capacitados a ter consciência do Eu, do Outro... do Mundo. A sciência caracteriza o grau de inteligência a que chamamos de homem. Por enquanto... Muito em breve o homem terá que se defrontar com situações até então inimagináveis, como a convivência com clones humanos. Um clone é senciente mas tem pais? Quem são? Como será o *status* familiar de um clone: filho ou irmão do clonado? Os juristas, muito em breve, terão de encontrar respostas para o avanço da ciência. Toda a cobrança ética feita à física no pós-guerra, com a explosão da bomba atômica, direciona-se, neste final de século e de milênio, para a biologia.

Até onde vai o direito do cientista em criar o que for capaz? Tudo o que a ciência for capaz de produzir deve ser produzido? No presente são muitas as perguntas que “desabam” nas cabeças pensantes, saídas de conjunturas puramente éticas.

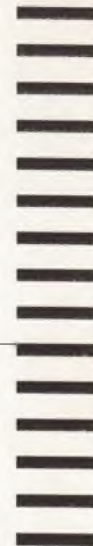
A ciência é um conjunto de saberes já “sabidos” que não tem compromisso com juízos de valor mas alimenta-se dos “saberes” a serem “sabidos”. O que fazemos com o conhecimento é que tem de ser aprovado por um código de ética a ser desenvolvido, uma vez que não podemos aprimorá-lo.

Uma das mais freqüentes acusações feitas aos que defendem a clonagem humana é que estariam querendo “brincar de Deus”. Nada é mais falho que essa acusação. Em nenhuma das mitologias já criadas pelos homens houve um deus que *copiasse* os seres: os deuses os criam!

Agora, temos por anátema o corolário da consciência: “Cada um sabe a dor e a delícia de ser o que é”.

## ERRATA

No número anterior, as ilustrações das seguintes páginas apareceram sem os respectivos créditos: páginas 150, 154 e 158 – Maurício Borges; páginas 161 e 162 – George Melo/Cartaz.

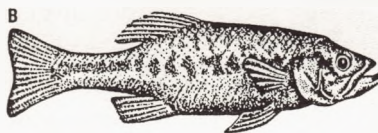


## Ciência da vida



Diversos pensadores e estudiosos tem considerado a Biologia como a nova fronteira científica, assim como foram a Matemática e a Química, entre outras ciências, nos últimos séculos. Uma busca rápida na nossa memória imediatamente nos expõe uma série de fatos recentes que reforçam esta posição: remédios biológicos, conservação do meio ambiente, alimentos mais nutritivos, clones e transgênicos, entre outros avanços e descobertas científicas, mostram o potencial das ciências biológicas em gerar produtos e conhecimento para o bem estar do homem. O presente número apresenta ao leitor alguns dos muitos ramos da Biologia. Os temas aqui presentes são tratados sob diferentes prismas. Alguns artigos discorrem sobre a evolução do pensamento biológico e a relação do homem como um ser social com esta ciência em crescente reconhecimento pela sociedade. Outros apresentam os temas sob um ponto de vista histórico: enquanto uns retratam o nascer de um novo ramo da Biologia ao longo das décadas como um somatório de pesquisa, descobertas e avanços científicos, outros apresentam de uma forma mais direta a participação de cientistas brasileiros no desenvolvimento, valorização e manutenção desta ciência no Brasil. A importância em se conhecer e conservar o meio ambiente e a diversidade biológica, assim como a aplicação deste conhecimento no sentido de melhorar as condições de vida, para a produção de alimentos e remédios são também apreciados. Finalmente, não poderia estar ausente uma discussão sobre as diretrizes éticas e morais que precisam ser consideradas na investigação científica. Este número da revista Humanidades reúne apenas uma pequena fração dos diversos campos de investigação biológica. Muito mais existe, e vários números seriam então necessários para obtermos uma maior abrangência. Contudo, esta pequena amostra reúne artigos preparados com muito esforço e interesse, o que assegura ao leitor textos com forte base científica e, ao mesmo tempo, de fácil leitura. Agradeço a todos os colaboradores a inestimável participação, ao editor da revista pela oportunidade e ao professor Marcus Mota pela proposta.

- 6** **Evolução do pensamento biológico: os esforços para uma biologia teórica**  
Manuel Mateus Ventura
- 24** **Reconstruindo as comunidades vegetais e o clima no passado**  
Maria Léa Salgado-Labouriau
- 41** **Taxonomia e sistemática: estudando a diversidade biológica do planeta**  
Reginaldo Constantino e Carlos Roberto F. Brandão
- 54** **Ecologia: ontem, hoje e amanhã**  
Anthony Raw
- 75** **Fisiologia vegetal no Brasil**  
Alfredo Gui Ferreira
- 86** **Genética e biotecnologia na agricultura**  
João Lúcio de Azevedo
- 100** **Plantas transgênicas: as novas ferramentas para a agricultura**  
Ana Cristina Miranda Brasileiro



Número 48

1º semestre de 2001

Editora Universidade de Brasília

Alexandre Lima (Diretor)

Lauro Morhy (Reitor)



## Expediente

A revista *Humanidades* é uma publicação da Editora Universidade de Brasília.

### Editor responsável

Airton Lugarinho

### Preparação de originais e revisão

Yana Palankof e Sonja Cavalcanti

### Edição de arte, capa e diagramação

Márcio Duarte

### Ilustradores

Maurício Borges, Marcelo Rubartelly, Wagner Soares, Paulo Andrade e Carlos Magno

### Impressão

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

### Acompanhamento gráfico

Luiz Antônio Rosa Ribeiro

### Preço

R\$ 6,50 (exemplar avulso)

R\$ 22,50 (assinatura: quatro números)

### Atendimento ao assinante

Alaíde Gonçalves dos Santos

(0 xx 61) 226-6874 Ramal 219

(0 xx 61) 226-7312

### Endereço

Revista *Humanidades*

SCS, Quadra 2, nº 78, Edifício Ok.

1º andar, 70.300-500, Brasília, DF

(0 xx 61) 226-6874 Ramal 216

Fax (0 xx 61) 225-5611

Os artigos são de inteira responsabilidade dos autores.

**110** **Biologia reprodutiva de plantas amazônicas: importância para o uso, o manejo e a conservação dos recursos naturais**  
Rogério Gribel

**120** **Cronobiologia e o tempo na biologia**  
Nelson Marques e Luiz Menna-Barreto

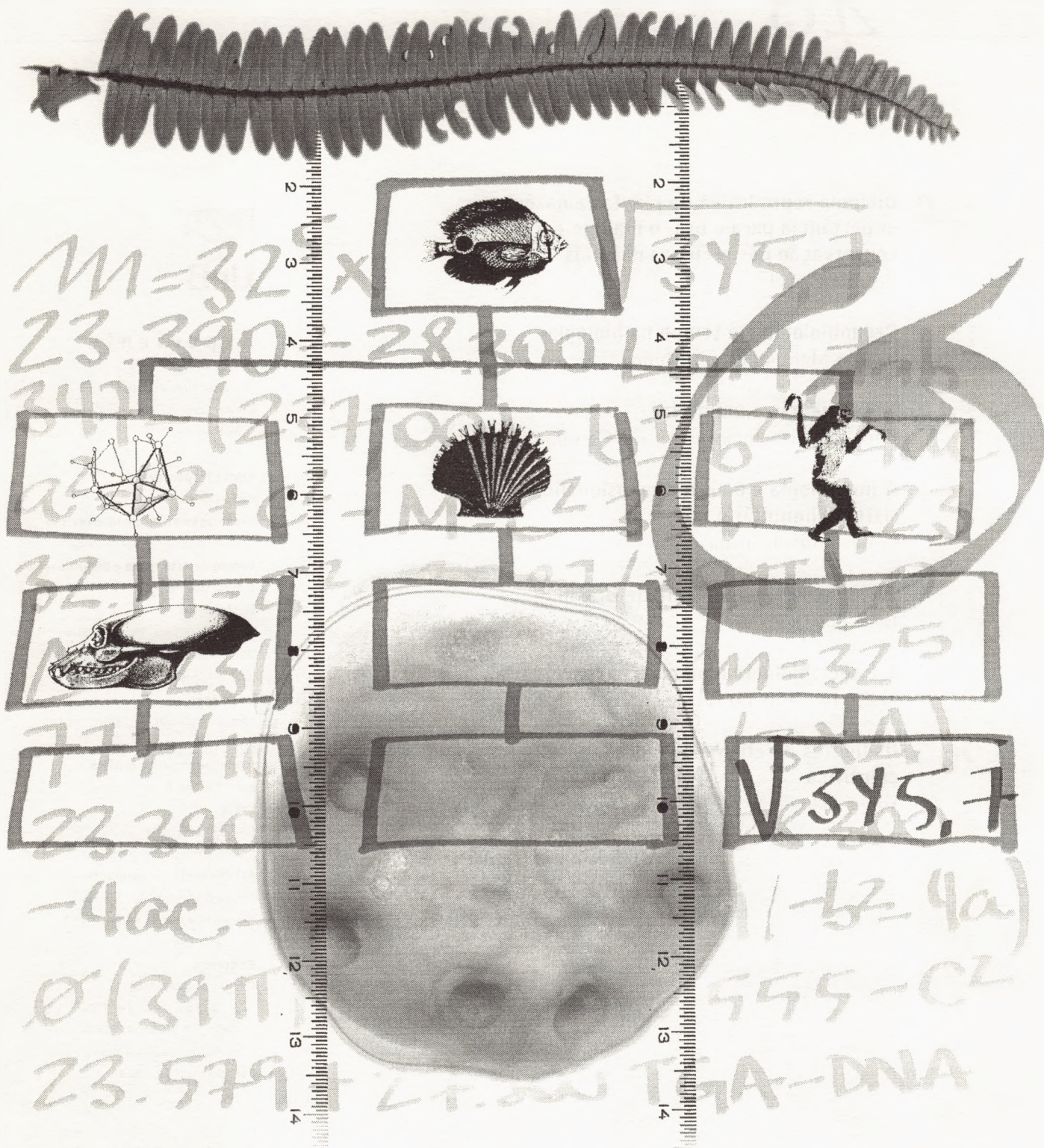
**145** **Neurociência e memória**  
Carlos Alberto Tomaz e Joseane Carvalho Costa

**161** **A imunologia e a multidimensionalidade do sistema imunitário**  
Carlos Eduardo Tosta

**181** **Biologia na Universidade de Brasília**  
Isaac Roitman

**196** **É a sociobiologia uma ciência reacionária?**  
André Luís Ribeiro Ferreira

**209** **Os limites da ética e da moral na pesquisa científica**  
Volnei Garrafa



# e v o l u ç ã o d o p e n s a m e n t o b i o l ó g i c o

OS ESFORÇOS PARA UMA BIOLOGIA TEÓRICA

**Manuel Mateus Ventura**

O presente artigo resultou de um seminário dado pelo autor, em março de 1998, por ocasião do início dos cursos de pós-graduação em Biologia Celular, no Departamento de Biologia Celular, UnB. Pretende-se tratar, mesmo em linhas gerais, de um dos aspectos mais fascinantes da biologia moderna – sua forte interdisciplinaridade com a química, a física e a matemática, dando origem às áreas da bioquímica, biofísica e biomatemática. Essa interdisciplinaridade tem resultado no fortalecimento conceitual e metodológico da biologia de hoje.

O entendimento e a explanação da estrutura e do desempenho funcional dos seres vivos em termos de física e química são pontos de vista dominantes em nossos dias, dando corpo à idéia de ser possível construir uma *biologia teórica*, a qual teria como escopo construir esquemas logicamente uniformes e coerentes de pensamento que abrangessem a extraordinária riqueza e as diversidades fatuais acumuladas pela biologia. Os esforços que vêm sendo feitos, principalmente ao longo do século XX, no sentido de uma teorização da biologia, constituem a tônica deste artigo. A extensão deste trabalho e

os detalhes técnicos foram mantidos em limites compatíveis com a índole desta revista. Além disso, as referências bibliográficas não pretendem ser abrangentes. Contudo, procura-se dar uma idéia geral da organização das ciências biológicas em seu estado atual, com destaque para o crescente esforço no sentido de ser tentada a construção de esquemas teóricos cada vez mais abrangentes e que dêem conta da diversidade caótica dos dados da observação e da experimentação. Para uma visão detalhada de alguns assuntos mais particularizados, são feitas indicações de trabalhos que, mais adequadamente, tratem de tais tópicos.

## BIOLOGIA – DO DESCRITIVO AO MAIS CIENTÍFICO

Até o século XIX, desde os primeiros registros assírios e babilônicos (~1800 a. C.), egípcios (~2000 a. C.), chineses (~2800 a. C.) e hindus (~2500 a. C.), o conhecimento sobre as coisas vivas foi puramente fático, consistindo em acúmulo de dados resultantes da observação. A biologia restringia-se a mero registro e catalogação de fatos, nos quais conceitualização precisa, unificação, abstração e generalização, enfim, idéias enlaçando os dados da observação em esquemas abrangentes e coerentes eram praticamente ausentes. A complexidade e a atordoante diversidade (compreendendo espécies e populações) biológicas levaram desde o início a esforços classificatórios ou taxonômicos, com base puramente ou predominantemente morfológica. Esta, é claro, foi uma extensa etapa necessária, a fim de que as coisas fossem denominadas e arrumadas. É justificável reconhecer que a dominância da taxonomia, com seu forte caráter estático (na época), respondeu, por muito tempo, pela quase totalidade dos esforços de pesquisa sobre os seres vivos, conferindo, entretanto, um evidente caráter descritivo à biologia. Hoje em dia, com o domínio das idéias evolucionárias, pelas quais organismos são relacionados com base em sua historicidade evolutiva e não em suas aparências, as classificações tradicionais estão cedendo lugar às que decorrem de relações filogenéticas e, cada vez mais, evolucionistas e taxonomistas dão-se as mãos. A classificação de bactérias baseada na forma e na bioquímica (metabolismo) resultou insuficiente, até que extraordinário progresso fosse obtido por estudos

filogenéticos baseados na comparação de seqüências de ácidos ribonucleicos ribossomais. Destacam-se aqui os recentes trabalhos de Woese e colaboradores com certos microorganismos, muitos deles hipertermófilos, que conduziram à introdução de um novo ramo – *Archaea* – na árvore da vida.

Os estudos sobre a dinâmica ou o funcionamento dos sistemas vivos vieram mais tarde, tendo sido possíveis graças ao avanço que se verificava nos recursos metodológicos e à influência recebida de domínios de conhecimento já cientificamente mais desenvolvidos. O surgimento e a adoção de termos como biologia celular, biologia vegetal e biologia animal, abrangendo aspectos estruturais e funcionais, sob forma integrada, refletem essa mudança no modo de pensar em biologia.

A amplitude da biologia pode ser vista na extensa multiplicidade de ramos ou subdomínios, mais para facilitar o tratamento dos sistemas complexos e diversos de que se ocupa do que propriamente por diferenças essenciais. É preciso ter em conta que a natureza nunca é esquemática, nós é que sentimos a necessidade de sê-lo.

Gradativamente, com o evoluir do conhecimento científico, as diferentes áreas da biologia tendem a integrar-se e a inter-relacionar-se em esquemas generalizantes de pensamento, os quais expressam um substrato interpretativo básico que se mostra existir para a multiplicidade das manifestações biológicas. Para essa integração, que se vai tornando, cada vez mais, a marca do pensamento biológico, tem sido decisiva a contribuição da física, da química e da matemática, a ponto de se dizer que as ciências biológicas tratam, em úl-

tima análise, dos aspectos físico-químicos dos sistemas vivos.

A biologia de hoje apresenta considerável grau de *cientificidade*, senão como a física, pelo menos, sem dúvida, como um domínio de conhecimento altamente conceitualizado e com esquemas coerentes de pensamento que lhe estruturam e dão consistência. É o que se tentará mostrar nos limites deste trabalho.

## BIOLOGIA TEÓRICA: CONCEITO E ESCOPO

Não tem sido fácil conceituar um ramo da biologia a que se pudesse denominar *biologia teórica*, atribuindo-lhe objetivos bem definidos. Em biologia, as declarações e

as inferências a partir de sua base fatorial têm sido quase sempre verbais e de índole qualitativa. Aqui, entenderemos por biologia teórica o componente das ciências biológicas que teria como escopo o desenvolvimento de esquemas teóricos, não necessariamente matemáticos, resultando em corpos consistentes e coerentes de conhecimento sobre determinadas situações biológicas, tais como a estrutura e a *performance* de sistemas vivos. As inferências feitas a partir da teoria devem ser sempre confrontadas com os resultados experimentais já disponíveis ou a obter (verificação de previsões teóricas), para sua confirmação ou

não. O não-acordo entre a previsão teórica e a experiência poderá indicar falha ou insuficiência do esquema teórico (por culpa do modelo adotado, por exemplo) ou procedimento experimental inadequado. No primeiro caso, um *feedback* informacional poderá determinar modificação do modelo, geralmente por inclusão de elementos do sistema que deixaram de ser considerados quando da construção do modelo, por substituição de elementos inadequados ou modificação das relações consideradas entre os elementos do modelo. Esses *loops* de realimentação (circularidade) fazem parte de um contínuo processo de

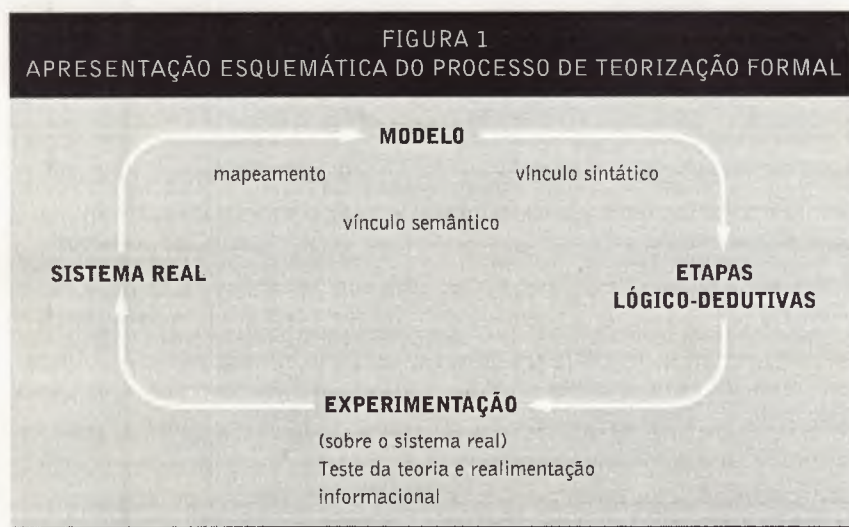
interação teoria-experimentação do qual resultará o aperfeiçoamento da teoria ou sua substituição por outra mais adequada. Uma teoria tem a grande vantagem de delimitar e orientar os experimentos que devem ser realizados, com base em suas inferências ou previsões.

Deve-se considerar-se que, em biologia, dada a natureza dos sistemas vivos (auto-organização, complexidade e evolução), os esquemas teóricos não devem ser excessivamente abstratos ou formais no tratamento dos dados referentes a tais sistemas, sob pena de, ao se procurar grande rigor formal, chegar-se à esterilidade da teoria em termos de sua aplicação.

A Figura 1 mostra, esquematicamente, o processo de teorização lógico-dedutivo descrito acima.

Vê-se, assim, que a biologia teórica, se tomada no sentido dado anteriormente, não se reduziria a uma biologia matemática, na qual tópicos ou questões de biologia de interesse teórico ou experimental são modelados e tratados matematicamente, tendo, contudo, na maioria das vezes, caráter particular e pouco abrangente. É o que se depreende da literatura existente sobre o assunto. A biologia teórica estaria para a biologia matemática assim como a física teórica está para a física matemática.

Os esquemas de pensamento operantes em biologia teórica são de natureza puramente biológica ou de índole física. Como exemplos de teorias essencialmente biológicas têm-se a genética (teoria da hereditariedade) e a teoria da evolução, duas teorias mestras da biologia. Quanto à primeira, a genética formal é de natureza simbólica e suas inferências resultam do uso de procedimentos matemáticos





relativamente simples. É um domínio de construção elegante e de consistência lógica. A teoria da evolução, cuja formulação inicial consistiu em declarações verbais, veio a ganhar tratamento matemático, em algumas de suas principais inferências, com Haldane (1), em 1924, Fisher (2, 3), em 1930 e em 1949, e Wright (4), em 1949.

As teorias físicas da biologia teórica são o resultado da interpenetração entre a biologia e os domínios de ciências moleculares (física e química), os quais apresentam alta consistência teórica e metodologias poderosas. Essa interdisciplinaridade, um traço marcante das ciências em nosso século, tem resultado no fortalecimento conceitual e metodológico da biologia. Domínios como bioquímica, biofísica e biologia molecular têm tonificado a biologia, conferindo-lhe maior cientificidade. A idéia de que os sistemas vivos devem

ser entendidos em termos atômico-moleculares, com a consideração de sua historicidade, ordem, complexidade, estabilidade e variabilidade, características que surgem no nível biológico, domina a biologia contemporânea. É no nível de seu substrato físico e químico que a biologia vem sendo teorizada segundo o esquema da Figura 1, com o uso de modelos matemáticos, os quais se têm mostrado úteis em ecologia, imunologia e biomedicina (5-7). Talvez se venha a ter a teorização da biologia, em termos formais, lógico-dedutivos, quando os biosistemas, em todos os seus aspectos, inclusive os biológicos, puderem ser interpretados e expressos em termos físicos e químicos. Esta é uma posição de reducionismo pleno, à qual muitos cientistas se opõem.

Um outro segmento da biologia de recente individualização e

reconhecimento é o da bioinformática, fortemente interdisciplinar e com interpenetração em biofísica, bioquímica, biologia molecular, biologia teórica, matemática e computação digital. A bioinformática tem sido resultado, principalmente, do extraordinário progresso na área de computação científica, tanto em termos de algoritmos e linguagens de programação como de computadores digitais. Ela explora todos os aspectos informacionais da estrutura e da função dos biosistemas, possibilitando obter, ao máximo, a informação que eles fornecem e exigem no nível de seus constituintes macro ou supramoleculares.

Outra área de conhecimento que contacta a biologia teórica é a da teoria dos sistemas, principalmente nas questões relativas aos processos de controle, regulação e evolução de sistemas em função do tempo.

## MODELOS EM BIOLOGIA TEÓRICA

O tratamento teórico ou matemático de um problema biológico, biotecnológico ou biomédico envolve, geralmente, a elaboração de um *modelo*. Este é uma idealização ou abstração que se toma em lugar do sistema real que, por sua complexidade, não permite ser considerado de forma plena. É comum dizer que o modelo é uma metáfora, simulação ou caricatura do sistema para cuja representação foi criado. Outros o identificam como um análogo do sistema, no sentido de que lhe é funcionalmente semelhante, apesar da estrutura diferente. A construção de um modelo é uma das etapas iniciais e fundamentais na cadeia do processo de desenvolvimento teórico. Sem um modelo satisfatório, o entendimento acerca de um dado sistema resulta muito difícil, confuso ou mesmo impossível.

Sistemas biológicos podem ser considerados como organizações dinâmicas de conjuntos de entidades materiais, assim como partículas submoleculares, pequenas e macromoléculas, montagens supramoleculares, células, organismos e populações de organismos. Essas unidades mantêm, no sistema, interações entre si e com o ambiente do sistema. A tais interações, essencialmente físico-químicas e dependentes do tempo, vinculam-se funções específicas ou conjuntos de atividades biológicas. Mais especificamente, pode-se dizer que os biosistemas efetuam reações químicas (metabolismo), armazenam e usam informação para sua auto-organização e auto-reprodução e podem evoluir por meio de variação (mutação) e seleção natural.

Segundo Bartholomay (8), um biosistema S pode ser representado por

$$S = (C, S, E, F, t) \quad [1]$$

onde C: composição; S: estrutura; E: ambiente; F: função (atividades biológicas) e t: tempo. A expressão [1] seria uma representação simbólica de S, denotando suas características mais relevantes. A dependência do tempo põe os biosistemas na categoria de sistemas dinâmicos.

A composição C compreende os vários subconjuntos de componentes do sistema: entidades micro ou macromoleculares, íons e componentes biológicos (células, estruturas subcelulares, organismos, populações, etc.). A consideração desse subconjuntos dependerá do nível de organização e da escala de tempo em que o sistema será estudado. Assim, se o estudo deve abranger somente o nível atômico-molecular, então os níveis superiores (organelas, células, etc.) podem ser negligenciados. Além disso, os subconjuntos de C terão de ser definidos para um dado instante de tempo ou estado  $\epsilon_t$ , o qual corresponde, na verdade, a um flagrante instantâneo da composição considerada. A composição está em contínua variação dentro e entre os subconjuntos de C.

Os elementos de composição e estrutura não compreendidos em C e S, respectivamente, seriam considerados como o ambiente E do sistema, enfatizando-se o relacionamento aberto (trocas livres de matéria e energia) entre eles. Dado o caráter aberto entre sistema e ambiente, é sempre muito difícil ou mesmo impossível precisar fronteiras entre ambos. Pode-se dizer que no ambiente de um sistema estão todos os outros sistemas (físicos, químicos e biológicos) que mantêm alguma relação com a composição e a estrutura do sistema.

m o d e l o s

O conjunto das ações físicas, químicas e biológicas que ocorram no sistema, envolvendo composição, estrutura e ambiente e assegurando a manutenção, o desenvolvimento e a evolução do sistema, está representado por  $F$ , na forma simbólica [1].  $F$  inclui atividades metabólicas e regulatórias que podem consistir em reações de maior ou menor complexidade, incluindo transformações de matéria e energia. Além disso, podem ser consideradas as ações de competição e colaboração com outros sistemas, resultando em favor da existência do sistema considerado. O fluxo de informação entre os vários elementos do sistema e o ambiente é um importante componente de  $F$ .

A consideração do tempo  $t$  é imprescindível, a fim de que ganhem sentido a composição, a es-

trutura e a função em qualquer sistema biológico. Em princípio, a seqüência no tempo de um biosistema, de um estado inicial a um estado ulterior, passando por estados intermediários, seria dada pela trajetória em um espaço-de-estado (multidimensional) do modelo matemático tomado para representar tal sistema. Esse problema é tratado dentro da teoria de sistemas dinâmicos.

Pode-se dizer, de modo geral, que um modelo matemático  $M$  de um biosistema  $S$  é uma construção matemática que consiste em: a) uma representação simbólica de um certo número de elementos selecionados do sistema que, por observação e experimentação prévias, são considerados representativos do sistema, relativamente aos aspectos a serem estudados; b) relações definidas entre os cons-

tituintes simbólicos do modelo que simulam relações entre os elementos correspondentes no sistema. Em outros termos: na construção do modelo matemático, elementos e relações selecionados no sistema são *mapeados* sobre o modelo. Simbolicamente, isso pode ser representado por  $\mu: S \Rightarrow M$ , isto é, um domínio biológico é mapeado em um domínio abstrato, matemático (8). Os problemas são, então, transferidos do domínio real do sistema para o domínio formal do modelo. O modelo será, portanto, uma simulação que tornará possível o tratamento formal do sistema que ele representa. O modelo funcionará tanto melhor quanto mais adequada for a escolha dos constituintes e das inter-relações do sistema mapeado no modelo. Na construção de um modelo, estabelece-se um vínculo semântico com o sistema (Figura 1) (6). É na construção do modelo, para dar conta de determinados aspectos do sistema, em que mais se manifestam a argúcia mental e a capacidade intuitiva do pesquisador. Após a modelagem do sistema, a tarefa que se segue consiste no desenvolvimento lógico-dedutivo ou matemático das informações que o modelo pode fornecer (vínculo sintático) (Figura 1) (6), por procedimentos geralmente já disponíveis. Durante as últimas três décadas, o considerável aumento do poder de cálculo dos computadores digitais, tanto em termos de máquinas quanto de algoritmos e linguagens de programação, vem tornando possível o tratamento de modelos biológicos complexos, principalmente nas áreas de bioquímica, biofísica, biologia estrutural, evolução, dinâmica de populações e ecologia. E o que é mais notável: esse poder de

# SISTEMAS

computação está sendo trazido, em parte, dos grandes e dispendiosos centros de computação para os gabinetes dos pesquisadores. O desenvolvimento de algoritmos de redes neurais e dos que simulam a seleção natural – os chamados algoritmos genéticos – tem possibilitado o tratamento mais eficaz de problemas complexos, como os que ocorrem em sistemas biológicos. Além disso, o uso de redes de microprocessadores para multiprocessamento paralelo vem constituindo uma alternativa aproximada, mas muito menos custosa em termos de investimento, para os supercomputadores. Assim, o uso de modelos matemáticos em biologia, tanto sob forma analítica (sempre preferível, mas nem sempre possível) ou de aproximação numérica, vem se tornando mais freqüente e vantajoso.

#### **ESFORÇOS PARA UMA BIOLOGIA TEÓRICA – SITUAÇÃO NA BIOLOGIA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

A debilidade conceitual e a exígua presença de generalizações em esquemas coerentes de pensamento abrangendo sua abundante e variada massa de fatos empíricos, além da diminuta quantificação de suas interpretações, como vimos, foram a característica da biologia até a segunda metade do século passado. Essa situação não se deveu somente ao tradicionalismo e à formação inadequada dos naturalistas, botânicos e zoólogos. Em grande parte, tem de se considerar a natureza dos próprios sistemas vivos, os quais, além de estrutural e funcionalmente complexos, são sistemas abertos e largamente afastados do equilíbrio, no sentido termodinâmico, isto é, mantêm, como condição imprescindível para sua existên-

cia, trocas materiais e energéticas com o ambiente que os cerca.

Entre os séculos XIX e XX, três grandes teorias foram estabelecidas em biologia.

- 1) A *teoria celular*, pela qual a idéia de célula como unidade estrutural e funcional dos seres vivos é firmada e desenvolvida. No século XX, com os poderosos recursos das técnicas de microscopia ótica (contraste de fase, confocal e de fluorescência) e de microscopia eletrônica (de transmissão e varredura), a ultra-estrutura celular (membranas, organelas e agregados supramoleculares) tem sido analisada em alta resolução. Esses resultados experimentais estão sendo integrados em um corpo coerente de pensamento sobre o plano arquitetural dos sistemas vivos, o qual, em conjunção com o conhecimento em nível atômico-molecular, advindo dos estudos espectroscópicos e de difração de raio-X, se corporifica na atual *biologia estrutural*. A intercomunicação ou sinalização entre células, e entre estas e o meio extracelular, compreendendo a transdução de várias formas de sinais (químicos e elétricos, por exemplo) e envolvendo aspectos estruturais e dinâmicos da membrana celular, constitui um dos mais fascinantes aspectos da moderna teoria celular. Para isso, a contribuição de biofísicos está sendo decisiva.
- 2) A *teoria da hereditariedade*, nascida das idéias e dos resultados experimentais de Mendel, é fortalecida pelos trabalhos de Boveri (Alemanha) e Morgan (Estados Unidos da América), que firmaram a base cromossômica da hereditariedade. A genética formal,

**Durante as últimas três décadas, o considerável aumento do poder de cálculo dos computadores digitais vem tornando possível o tratamento de modelos biológicos complexos**

# e v o l u ç ã o

um dos segmentos da genética, é sem dúvida a primeira construção simbólica com processamento de símbolos (fatores hereditários) por técnicas matemáticas (análise combinatorial e probabilidades) a ter êxito em biologia. Mostrou-se uma fértil e elegante construção formal. A genética formal é um exemplo de que é possível haver na biologia esquemas formais, lógico-dedutivos, à semelhança das construções teóricas da física.

3) A *teoria da evolução* foi apresentada (sob forma completa) por Charles Darwin, em sua publicação de 1859: *On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*, após extenso trabalho de observação, por vários anos, sobre a diversidade das espécies e das comunidades de seres vivos, em várias regiões do mundo. Sobre essa base de dados, Darwin construiu esquemas teóricos considerando a idéia central da mutabilidade das espécies, em contraposição à idéia de fixidez das formas vivas, então dominante e arraigada no pensamento biológico. Variação por mutação e

seleção natural do mais apto ou adaptado na luta pela existência são os processos básicos na evolução das espécies. Mais adiante, será visto que a teoria da evolução, apesar de expressa em declarações verbais pelo seu criador, foi submetida à formulação matemática por Haldane e Fisher, já no século XX.

Dentre os primeiros esforços no sentido de contribuir para uma biologia teórica, ressaltamos, no século XVII, os trabalhos de Borelli (10) sobre mecânica animal e enfiados em dois volumes, assim como os de von Helmholtz (11, 12) sobre a fisiologia da sensação dos sons e ótica fisiológica, que constituem exemplos de tratamento físico-matemático de questões biológicas.

A segunda década do século XX foi marcada pela publicação do monumental e seminal *On growth and form* de D'Arcy Thompson (13), no qual o crescimento e a forma de organismos vivos são tratados como problema físico e matemático, respectivamente. As idéias de Thompson tiveram grande repercussão na biologia moderna e desdobram-se em concepções teóricas

mais recentes sobre o desenvolvimento (morfogênese) organizmico. A tônica do trabalho de D'Arcy Thompson é o uso de uma matemática simples na análise dos padrões morfológicos. *On growth and form* assinala, sem dúvida, o início dos esforços de teorização na biologia moderna.

Em 1924, é publicado *Elements of physical biology*, de Lotka (14), no qual a vida é tratada como sendo de natureza essencialmente química. Os sistemas vivos são vistos por Lotka como sistemas altamente estruturados obedecendo às leis da dinâmica química. Essas idéias

causaram forte impacto sobre o pensamento biológico e fizeram surgir uma intensificação dos esforços no sentido de uma biologia teórica, notadamente no período de 1940 a 1960. No dizer de Morowitz (15), *Lotka's view is cosmological in scope*, tal sua ambição científica. Na apresentação e no desenvolvimento de suas idéias, Lotka usa, principalmente, equações diferenciais e integrais.

A teoria da evolução, que fora expressa sob forma verbal (Darwin, 1859) e que se constituiu na maior síntese do pensamento biológico, foi submetida a tratamento mate-

mático nos trabalhos de J. B. S. Haldane (1924), *A mathematical theory of natural and artificial selection* (1) e, mais tarde, por R. A. Fisher (1930), em *The genetical theory of natural selection* (2) e em *The theory of inbreeding* (1949) (3), e por S. Wright (1949), em *Adaptation and selection* (4).

O papel central que a teoria da evolução desempenha na biologia é plenamente avaliado na declaração do grande geneticista e evolucionista Theodosius Dobzhansky (16): "Nothing in biology makes sense except in the light of evolution".

O trabalho teórico de Fisher (1930) conduziu à consolidação da idéia de *genética das populações*, a qual constituiu importante contribuição à síntese neodarwiniana da teoria da evolução. Sob essa forma, a teoria da evolução tem florescido pelo trabalho de uma plêiade de biólogos, tais como Theodosius Dobzhansky, E. Mayr e vários outros. As idéias que culminaram na construção do corpo teórico da genética de populações foram enfeixadas e expostas por Provine (17).

Na década de 1930, surgem as contribuições de Volterra (1931), *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie* (18) e Volterra e D'Ancora (1935), *Les associations biologiques au point de vue mathématique* (9). Esses trabalhos lançaram praticamente as bases da ecologia teórica e têm muito do pensamento de Lotka. As técnicas matemáticas usadas por Volterra, algumas com certa originalidade, consistiram, principalmente, na solução de equações diferenciais, nas quais condições de contorno dependiam do problema biológico em consideração. Em 1937, tem-se a assinalar a publicação de *Biologie mathématique*, por Kostitzem (20).

O papel central que a teoria da evolução desempenha na biologia é plenamente avaliado na declaração do grande geneticista e evolucionista Theodosius Dobzhansky: Nothing in biology makes sense except in the light of evolution

Uma tentativa de teorização lógico-formal da biologia foi proposta por Woodger (1937) (21) em sua publicação intitulada *The axiomatic method in biology*. Woodger propôs o desenvolvimento de um cálculo biológico no estilo da formalização axiomático-dedutiva em física teórica. Essa contribuição foi válida como esforço no sentido de fazer surgir uma construção intelectual que venha a ordenar o pensamento biológico. Ainda hoje, não se sabe muito bem se toda a biologia pode ser tratada por uma teorização da natureza como aquela que, com reconhecido êxito, tem sido usada na física. John von Neumann, por exemplo, ao comparar processos computacionais digitais com processos bionurais, chegou à conclusão de que a linguagem do cérebro não se identifica com a do computador. As redes de neurônios teriam um formalismo diferente daquele usado nos computadores digitais (máquinas de Turing). Os argumentos de von

Neumann continuariam válidos mesmo que processamentos paralelos fossem considerados em lugar de sequenciais.

Reflexões de Roger Penrose (1997) (22) levam a admitir que parece haver alguma coisa na ação física do cérebro que não pode ser simulada por computação.

Abordagens teóricas de problemas biológicos têm sido feitas por meio da *teoria de sistemas dinâmicos*, especialmente em casos de processos dependentes do tempo e de controle metabólico (23, 24).

Nicolas Rashevsky, líder do então emergente grupo de biologia teórica de Chicago, publicou, em 1938, *Mathematical biophysics* (25), abrangendo estudos sobre a célula, membranas excitáveis e sistema nervoso central e dando sempre mais ênfase ao tratamento formal que ao enfoque físico. Edições dessa obra foram posteriormente publicadas. A terceira edição, revista e aumentada, em dois volumes, apareceu em 1960. Em

1961, Rashevsky publicou *Mathematical principles in biology and their applications* (26). As contribuições de Rashevsky foram significantes como um esforço no sentido do desenvolvimento de princípios matemáticos gerais para a biologia. Rashevsky acentua a conveniência, do ponto de vista teórico, da formulação de princípios matemáticos gerais em biologia teórica. Ao reconhecer que, em biologia, aspectos relacionais são por vezes mais importantes que aspectos quantitativos ou puramente métricos, indicou a topologia como a matemática mais adequada à formulação de tais princípios gerais em biologia. Assim, atribui a cada organismo um espaço topológico cuja complexidade dependerá do grau de organização. Espaços topológicos correspondentes a vários organismos podem ser mapeados um sobre o outro e onde certas relações são mantidas.

Como consequência do grupo de Chicago, liderado por Rashevsky,

Reflexões de Roger  
Penrose levam a  
admitir que parece  
haver alguma coisa  
na ação física do  
cérebro que não pode  
ser simulada por  
computação

surgiu o periódico *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, que, até o encerramento de sua publicação, publicou trabalhos de relevância, a maioria deles sobre modelos físico-matemáticos de sistemas ou situações biológicas. Logo a seguir, começa a publicação do *Bulletin of Mathematical Biology*, pela Society of Mathematical Biology (EUA). Desde 1961, tem sido continuamente publicada a revista *Journal of Theoretical Biology*, apresentando, predominantemente, resultados de modelos matemáticos em biologia e em biomedicina. A *Acta Biotheoretica*, publicada desde 1935 pelo grupo de biologia teórica de Leiden, ocupa-se em publicar trabalhos de biologia teórica, de natureza verbal.

Robert Rosen, de 1958 a 1962, publicou uma série de trabalhos sobre biologia relacional, com base na teoria de grafos, tentando declarações relacionais gerais sobre organismos (27, 28). Essa idéia básica foi tomada de Rashevsky e

aparece exposta em seus trabalhos antes referidos. Rosen usou grafos orientados para representar organismos, admitindo os nós ou pontos representando os componentes de um organismo e as arestas ou linhas que chegam a um ponto como entradas (*inputs*) no organismo (ou órgão), enquanto linhas dirigidas que abandonam um ponto indicam saídas (*outputs*). Vê-se que, nesse tratamento, ao serem consideradas entradas e saídas de um sistema, somente aspectos relacionais e não os mecanismos envolvidos são de relevância. Rosen, ao reconhecer uma série de inconvenientes no uso de grafos orientados, passou a admitir que um órgão ou organismo faz um mapeamento (*mapping*) de um conjunto de entradas sobre o correspondente conjunto de saídas. Ainda foi admitido mapeamento de mapeamento em um organismo. Na realidade, essas idéias estão basicamente contidas na teoria mais geral proposta por S. Eisen-

berg em 1945, *a teoria das categorias* (29).

Em 1963, B. C. Goodwin publicou o livro *Temporal organization in cells – a dynamic theory of cellular control processes* (24), no qual chama atenção para a necessidade de, além da organização espacial, ser considerada a organização que decorre do transcurso do tempo em sistemas vivos. Goodwin dá ênfase aos processos epigenéticos, dos quais estuda aspectos dinâmicos e mecânico-estatísticos.

Ao passar em revista, com a extensão compatível com o escopo deste artigo, as contribuições de índole teórica mais significativas para o desenvolvimento da biologia moderna e contemporânea, não se pode deixar de referir a publicação de *What is life?* por Erwin Schrödinger (30), em 1944. Schrödinger, físico teórico, prêmio Nobel, foi um dos criadores da mecânica quântica e tem o seu nome ligado a uma das mais famosas equações da física, a qual, em

**Ainda hoje, não se sabe muito bem se toda a biologia pode ser tratada por uma teorização da natureza como aquela que, com reconhecido êxito, tem sido usada na física**

princípio, poderia descrever qualquer sistema material. Schrödinger era um cientista de vasta cultura e amplo horizonte intelectual. *What is life?* resultou de três conferências proferidas no Trinity College, em Dublin, e teve grande repercussão internacional. Dois temas de grande importância para a biologia foram tratados por Schrödinger: a natureza da transferência de caracteres hereditários e a termodinâmica de sistemas vivos (principalmente a validade da segunda lei para estes sistemas) (31). A compreensão errônea da validade da segunda lei da termodinâmica (ordem-desordem) em biosistemas resultou, por várias décadas, no fortalecimento de posições vitalistas e anti-reducionistas. Schrödinger acentuou que os sistemas vivos, como sistemas abertos, ganham sua ordenação à custa da desordenação de seu ambiente. Desse modo, nada há de excepcional ou inexplicável em tais sistemas, não havendo nenhuma contradição da segunda lei.

A proposta de uma estrutura semelhante a um cristal periódico como repositório de informação genética é reconhecida como uma antecipação da concepção do gene

como um segmento do ADN, como estabelecido a partir do trabalho de Watson e Crick (32), em 1953.

*What is life?* não é um livro de resultados, mas teve grande papel ao indicar ou reforçar linhas de pensamento para um entendimento mais profundo de aspectos essenciais dos sistemas vivos.

Em 1972, foi publicado *Stabilité structurelle et morphogenèse*, por René Thom (33), um criativo matemático francês, medalha Fields. Em seu livro, de difícil leitura, Thom propõe uma teoria geral do aparecimento de formas (morfogênese) na natureza, inclusive em sistemas vivos. Em suas aplicações à biologia, em particular à embriologia, Thom inspirou-se, como ele próprio declara, em uma idéia de Max Delbrück (físico, geneticista e um dos fundadores, juntamente com Luria, do chamado *grupo do fago*, que impulsionou a genética de microorganismos), proposta em 1949, em um seminário promovido pelo C. N. R. S. (França). Delbrück entendia que, na diferenciação celular, as células de um organismo podem sofrer mudanças do padrão metabólico, no percurso entre a célula-mãe e uma célula descendente. Thom

viu nessa idéia a indicação de um processo a ser tratado essencialmente do mesmo modo que as transições de fase em sistemas físicos. A embriologia dos vertebrados, por exemplo, é marcada por profundas alterações metabólicas celulares. Isso foi um dos principais motivos que levaram Thom a escrever *Stabilité structurelle*. Thom, apesar de admitir a importância dos processos físico-químicos e do controle genético para a organização estrutural (morfogênese) do organismo adulto, não admite que isso seja causa suficiente da organização final. Nesse caso, a

O QUE É VIDA?

posição totalmente reducionista é por ele repelida, por ser, no seu entender, "dogmática e metafísica".

A grande complexidade da cinética dos processos bioquímicos, os quais são não-lineares e em grande parte autocatalíticos, seria responsável, pelo menos em parte, pelo impedimento intrínseco de uma descrição e uma explanação completas do desenvolvimento orgânico. A modelização matemática dessa idéia de a morfogênese ser considerada, em seu substrato mais geral, como uma sucessão de fenômenos críticos de mudança de fase foi empreendida por aplicação

da teoria das catástrofes, cujo desenvolvimento se deve principalmente a Thom e a Christopher Zeeman. A teoria das catástrofes é uma construção matemática que permite a ordenação de dados experimentais, nas mais diversas situações, abrangendo vários domínios científicos (física, linguística, embriologia, neurobiologia e outros) (34). Ela considera as descontinuidades que podem ocorrer na evolução de um sistema. Entre duas descontinuidades sucessivas, o trecho correspondente é contínuo e pode ser expresso por uma equação diferencial, a qual passa a

ser diferente quando o sistema transpõe uma descontinuidade ou catástrofe. A evolução do sistema, então, passa a ser representada por um conjunto de expressões diferenciais. Essa breve descrição dá uma leve idéia do que consiste a teoria, em suas linhas gerais. O termo catástrofe não tem o significado que recebe na linguagem comum, de acontecimento desastroso.

A teoria de Thom, apesar de acenar com uma explanação da morfogênese orgânica com base em uma sucessão de transições de fase ou catástrofes (metabólicas), não tem tido grande penetração entre os biólogos, e dela não se têm obtido muitos e significativos resultados, em termos de modelos que funcionem e permitam previsões e explicações plausíveis. Isso é reconhecido pelo próprio Thom.

O problema da forma biológica, abrangendo tanto o surgimento da forma orgânica (morfogênese) como as relações de estrutura entre organismos de diferentes morfologias (*taxonomy*), ocupa posição central na biologia e tem sido objeto de significantes esquemas teóricos, desde o trabalho de D'Arcy Thompson. O esquema conceitual essencialmente histórico do neodarwinismo considera a taxonomia basicamente como genealogia, surgida de variação aleatória de genótipos e seleção natural de fenótipos, enquanto a morfogênese é a realização de um programa genético resultando de um processo de automontagem de produtos dos genes (proteínas) em estruturas supramoleculares. Vê-se assim que, no quadro conceitual do neodarwinismo, qualquer forma biológica seria possível, desde que a sobrevivência fosse a única condição a ser satisfeita. A proximidade

A teoria de Thom,  
apesar de acenar com  
uma explanação da  
morfogênese  
orgânica com base  
em uma sucessão de  
transições de fase ou  
catástrofes, não tem  
tido grande penetração  
entre os biólogos



na descendência é apontada como o único determinante da similaridade dos seres vivos. Entretanto, uma boa parte dos biólogos acha este modo de pensar como insuficiente para dar conta da regularidade matemática e da ordem na forma biológica, havendo necessidade de uma explanação diferente. O trabalho teórico de Thom tenta ser uma contribuição nesse sentido, aceitando com um quadro interpretativo mais amplo e adequado.

Durante as últimas três décadas, os trabalhos de Stuart A. Kauffman sobre ordem-desordem, complexidade e caos em biologia desenvolvimental e evolucionária têm sido integrados em um corpo de pensamento de alta coerência que aponta para a auto-organização (ordem espontânea) em biosistemas como sendo de grande relevância para a evolução.

Kauffman (1993) enfeixou suas idéias e principais resultados de pesquisas e esquemas interpretativos no livro *The origins of order – self organization and selection in evolution* (35). Kauffman esteve ligado ao grupo de biologia teórica de Chicago e tem sido um dos integrantes do Instituto de Santa Fé (Novo México), o qual, reunindo matemáticos, físicos, biólogos, economistas e cientistas de computação, se vem notabilizando pelos estudos sobre ciências da complexidade (36).

Quanto à origem das primeiras formas de vida sobre a Terra, Kauffman não acha suficiente atribuir papel exclusivo ao surgimento de polímeros que se repliquem com base em fôrmas ou moldes (*templates*). Ácidos ribonucleicos (ARN) teriam sido tais moléculas replicantes iniciais, como se admite hoje. A descoberta relativamente recente de ribozimas – ARNs

com ação catalítica – reforça tal idéia. Para Kauffman, tais sistemas moleculares iniciais teriam de aumentar em complexidade (aumento do número de espécies moleculares, da diversidade molecular e das interações entre os componentes do sistema) e, então, atingido o limiar de criticalidade, um estado de ordem teria emergido espontaneamente por um processo análogo ao de uma transição de fase em sistemas físicos. Processos autocatalíticos, em sistemas abertos, nos quais espécies moleculares catalisam sua própria formação, teriam sido a causa dessa emergência de ordem no sistema. Teria havido em um sistema desordenado, termodinamicamente aberto e afastado do equilíbrio, mas com complexidade adequada, a emergência espontânea de uma “ordem dinâmica coletiva”. Esta idéia central de uma ordem espontaneamente gerada no seio de uma complexidade crítica desordenada, em sistemas abertos, por força de processos autocatalíticos, tem sido a base dos trabalhos de Kauffman e colegas (31, 35). Tais conjuntos catalíticos têm sido modelados por Kauffman como grafos formados de nós representando espécies moleculares (polímeros e micromoléculas orgânicas), os quais são conectados por linhas (arestas) indicando todas as reações entre essas moléculas. Grafos assim formados foram denominados *grafos de reação*. O número de conexões aumenta com a diversidade molecular do sistema representado. A fim de investigar a ocorrência de transições de fase em grafos de reação, Kauffman considerou, em primeiro lugar, o aparecimento de fenômenos críticos em grafos aleatórios, os quais são formados por nós aleatoria-

mente conectados. Um resultado muito importante foi a demonstração por Erdős e Renyi (37) de que transições de fase ocorrem em grafos aleatórios desde que a relação do número de arestas para o de nós ultrapasse 0.5. Considerando grafos de reações catalíticas entre polímeros, Kauffman admite que, no caso de processos autocatalíticos, o grafo pode, atingida uma certa diversidade crítica, fazer surgir um extenso subconjunto autocatalítico. Assim, a auto-reprodução terá emergido como uma transição de fase, em determinada complexidade crítica. De repente, o conjunto torna-se autocatalítico. Kauffman chama a esse estado de fechamento catalítico. Isso seria a simulação da auto-reprodução do sistema. Paralelamente a essa idéia de emergência de conjuntos autocatalíticos, têm havido esforços para se saber como seria possível surgir atividade metabólica conectada ao sistema auto-reprodutivo. Os estudos de Kauffman conduzem a admitir que os sistemas vivos (organismos, populações e ecossistemas coenvolventes) são formas de complexidade organizada (31, 35): sistemas que se auto-organizam quando uma complexidade crítica é atingida. Em sistemas organizados, os componentes são fortemente acoplados, de tal modo que o comportamento individual dos componentes difere de um para o outro e do comportamento do todo.

Para Kauffman, complexidade e regularidade são os componentes responsáveis pelo desenvolvimento do ovo fertilizado, isto é, pelo surgimento da forma e da dinâmica organizmicas (31, 35). Além disso, os sistemas complexos organizados são adequados a que, sobre eles, opere a evolução adapta-

tiva. A evolução desses sistemas é vista operar-se entre os regimes complexo e caótico (fronteira complexidade-caos).

Exemplos de auto-organização são encontrados em autômatos celulares, os quais são coleções de entidades matemáticas que, apesar de individualmente governadas por regras simples, evoluem de situações iniciais desordenadas para agregados apresentando comportamento altamente complexo e estados de elevada ordenação.

Mais recentemente, foi publicado *Foundations of biophilosophy*, por Martin Mahner (biólogo) e Mario Bunge (filósofo de ciência), no qual é proposta uma formalização axiomática da biologia, com uso acentuado de lógica simbólica (38).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após serem vistos, mesmo em linhas gerais, os esforços mais significativos no sentido de uma biologia teórica, serão convenientes as considerações finais que se seguem.

- 1) Da segunda metade do século XIX aos dias atuais, três grandes teorias – a teoria celular, a teoria da hereditariedade e a teoria da evolução – dominam o pensamento biológico e respondem pelo abandono de posições tradicionalistas, puramente descritivas, em favor de esquemas interpretativos mais poderosos na compreensão da estrutura e da dinâmica dos sistemas vivos. Essas teorias são esquemas de pensamento que, apesar de coerentes, resultam essencialmente de generalizações de dados provenientes da observação e da experimentação. Não apresentam uma estrutura formal à semelhança das teorias físicas.
- 2) Tais teorias biológicas, apesar de verbalmente expressas, têm tido algumas de suas inferências tratadas matematicamente, como é o caso da teoria da evolução por seleção natural. O uso de modelos matemáticos tem conduzido a resultados interessantes, até mesmo em situações complexas em biologia (evolução, ecologia e imunologia, por exemplo) e seus domínios aplicados (biotecnologia e biomedicina). A biologia matemática compreende esse tipo de estudo.
- 3) Até o momento, nada existe de essencial que venha a negar a possibilidade de os sistemas biológicos serem plenamente explanados em termos físicos e químicos, apesar de sua grande complexidade.
- 4) Esquemas lógico-dedutivos, abrangendo e ordenando o pensamento biológico, não têm tido muito êxito e aceitação pela maioria dos biólogos.
- 5) O grande progresso na explanação e no entendimento da estrutura e da dinâmica dos biosistemas são resultado do *interfaceamento* da biologia com outros domínios científicos, tais

## referências bibliográficas

1. HALDANE, J. B. S. 1924. A mathematical theory of natural and artificial selection. Cambridge: Cambridge University Press.
2. FISHER, R. A. 1930. The genetical theory of natural selection. Oxford: Oxford University Press.
3. \_\_\_\_\_. 1949. The theory of inbreeding. Londres: Oliver & Boyd.
4. WRIGHT, S. 1949. "Adaptation in selection". Genetics, paleontology and evolution. Em JEPSEN, G. L., SIMPSON, G. G., MAYR, E. (eds.). Princeton: Princeton University Press.
5. GARFINKEL, D. 1965. Computer simulation in biochemistry and ecology. Theoretical and mathematical biology. Em WATERMAN, T. H., MOROWITZ, H. J. (eds.). Nova York: Blaisdell Publishing Company.
6. MASSOUD, T. F., HADEMENOS, G. J., YOUNG, W. L., GAO, E., PILE-SPILLMAN, J., VINUELA, F. 1998. Principles and philosophy of modeling in biomedical research. FASEB J., 12: 275-285.
7. KOSLOW, S. H., MANDELL, A. J., SCHLESINGER, M. F. (eds.). 1987. Perspectives in biological dynamics and theoretical medicine. Ann. N. Y. Acad. Sci., v. 504.
8. BARTHOLOMAW, A. F. 1968. Some general ideas on deterministic and stochastic models of biological systems. Quantitative biology of metabolism. Em LOCKER, A. (ed.). Berlin: Springer-Verlag; Nova York: Heidelberg.
9. DARWIN, C. 1966. On the origin of species. (edição fac-símile). Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
10. BORELLI, G. A. 1680/1681. De motum animalium, vols. I/II. Citado em WATERMAN, T. H. (1965). The Problem. Theoretical and mathematical biology. Em WATERMAN, T. H., MOROWITZ, H. J. (eds.). Nova York: Blaisdell Publ.
11. VON HELMHOLTZ, H. L. F. 1863. Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie Der Musik. Citado em MOROWITZ, H. J. (1965). The Historical Background. Theoretical and mathematical biology. Em WATERMAN, T. H., MOROWITZ, H. J. (eds.). Nova York: Blaisdell Publ.
12. \_\_\_\_\_. 1867. Handbuch der Physiologische Optik. Leipzig: Voss.
13. THOMPSON, D'Arcy. 1966. On growth and form. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press.
14. LOTKA, A. J. 1925. Elements of physical biology. Baltimore: Williams and Wilkins.
15. MOROWITZ, H. J. 1965. The historical background. Theoretical and mathematical biology. Em WATERMAN, T. H., MOROWITZ, H. J. (eds.). Nova York: Blaisdell Publ.
16. FAGERSTRÖM, T., JAGERS, P., SZATHMARY, E. 1996. Biologists put on mathematical glasses, 274: 2039-2040.
17. PROVINE, W. B. 1971. The origins of theoretical population genetics.

como matemática, ciências moleculares (física e química) e ciências da informação, resultando em domínios como biomatemática, biofísica, bioquímica e bioinformática. Essa forte interdisciplinaridade tem-se refletido no enriquecimento conceitual e metodológico da biologia, constituindo-se na característica dominante do pensamento biológico moderno. Isso pode ser sintetizado na declaração de Harold Varmus, ganhador do prêmio Nobel e atual diretor do NIH (National Institute of Health), dos Estados Unidos: "Biology is not just for

biologists" (39). Realmente, a biologia é muito grande e complexa para ser somente dos biólogos. A colaboração de matemáticos, físicos, químicos e engenheiros é cada vez mais sentida e desejada. \*

#### Manuel Mateus Ventura

Professor emérito de Biofísica da Universidade de Brasília

- Chicago: University of Chicago Press.
18. VOLTERRA, V. 1931. *Leçon sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*. Paris: Gauthier-Villars.
  19. VOLTERRA, V., D'ANCONA, U. 1935. *Les associations biologiques au point de vue mathématique*. Paris: Herman.
  20. KOSTITZIM, V. A. 1937. *Biologie mathématique*. Librairie Armand Colin.
  21. WOODGER, J. H. 1937. *The axiomatic method in biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
  22. PENROSE, R. 1997. *Physics in the mind. The large, the small and the human mind*. Em LONGAIR, Malcolm (ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
  23. ROSEN, R. 1970. *Dynamical system theory in biology*, v. 1. Nova York: Wiley-Interscience.
  24. GOODWIN, B. C. 1963. *Temporal organization in cells*. Londres: Academic Press.
  25. RASHEVSKY, N. 1938. *Mathematical biophysics*. Chicago: University of Chicago Press.
  26. \_\_\_\_\_. 1961. *Mathematical principles in biology and their applications*. Springfield, Ill.: Thomas.
  27. ROSEN, R. 1958. A relational theory of biological systems. *Bull. Math. Biophysics*, 20: 245-260.
  28. \_\_\_\_\_. 1962. A note on abstract relational biologies. *Bull. Math. Biophysics*, 24: 31-38.
  29. EISENBERG, S. 1945. General theory of natural equivalence. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 58: 231-244.
  30. SCHRÖDINGER, E. 1944. *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press.
  31. KAUFFMAN, S. A. 1997. What is life?: was Schrödinger right? *What is life? The next fifty years*. Em MURPHY, M. P., O'NEILL, L. A. J. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
  32. WATSON, J. D., CRICK, F. H. C. 1953. Molecular structure of nucleic acids. *Nature*, 171 (4356): 737-738.
  33. THOM, R. 1972. *Stabilité structurelle et morphogénèse – Essai d'une théorie générale des modèles*. Reading: Benjamin.
  34. ZEEMAN, E. C. 1977. *Catastrophe theory: selected papers*. Reading: Addison-Wesley.
  35. KAUFFMAN, S. A. 1993. *The origins of order – self-organization and selection in evolution*. Oxford: Oxford University Press.
  36. WALDROP, M. M. 1992. *Complexity*. Nova York: Simon & Schuster.
  37. ERDŐS, P., RENYI, A. 1959. *On the random graphs I.*, v. 6. Hungary: Institute of Mathematics, University of Debrecen, Debrecar. (citado em 34).
  38. MAHNER, M., BUNGE, M. 1997. *Foundations of biophilosophy*. Nova York: Springer.
  39. AGNEW, B. 1998. NIH Plans Bio-engineering Initiative. *Science*, 280: 1516-1518.

A decorative header consisting of a grid of letters in a light, monospace font, arranged in horizontal rows. The letters are mostly uppercase and form a pattern that spans the width of the page.

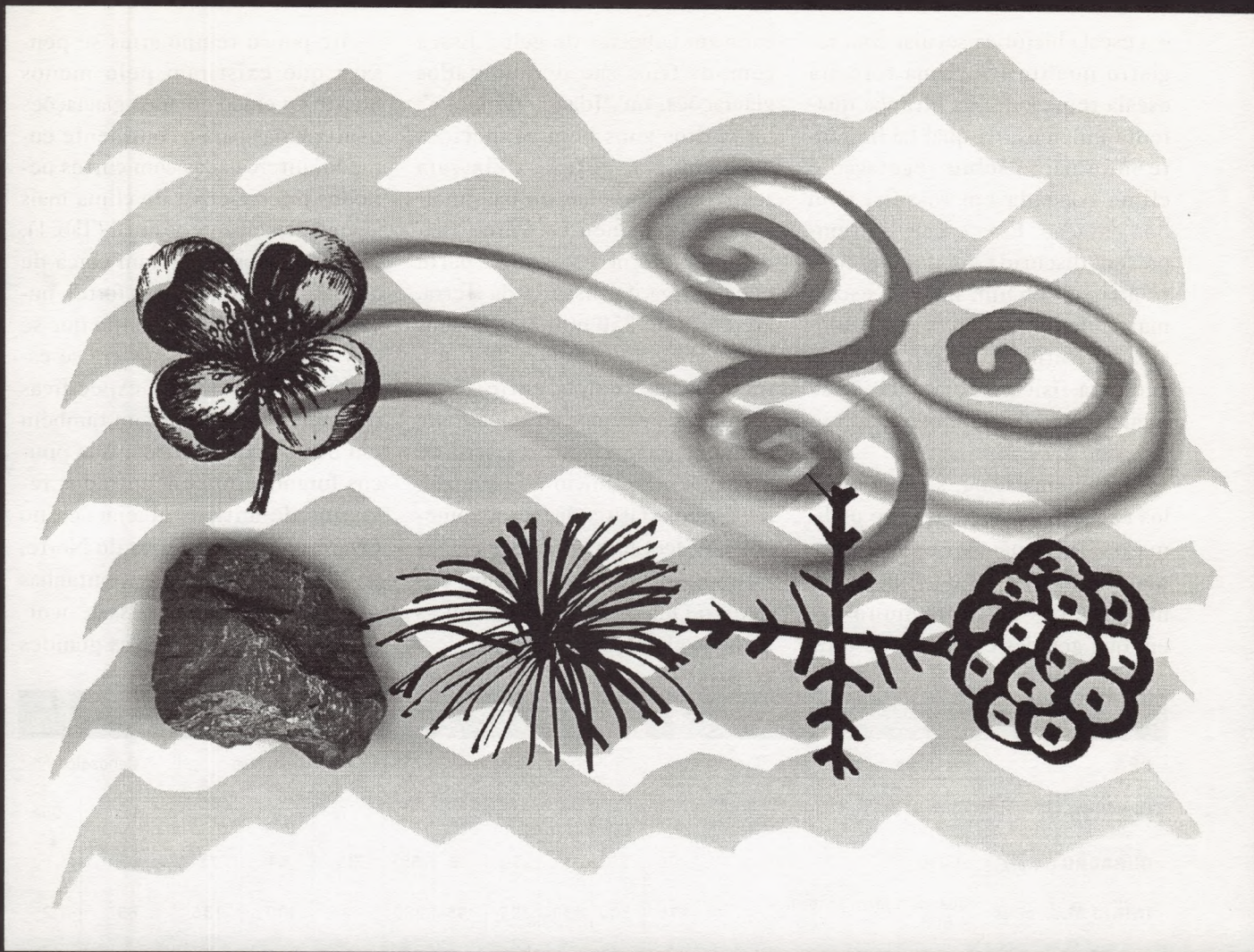
## Maria Léa Salgado-Labouriau

**O**bservando uma série de fotografias da vegetação de uma região podemos deduzir se o clima é seco ou úmido, tropical ou temperado. Sabemos que florestas tropicais úmidas ocorrem em locais com regime de chuvas abundantes e bem distribuídas ao longo do ano e que em climas com uma estação seca bem pronunciada a vegetação geralmente é do tipo cerrado ou savana. Clima e vegetação estão fortemente interligados.

Informações sobre clima e vegetação de diferentes locais, aliados a técnicas de datação, permitem conhecer as mudanças globais que

ocorreram no passado. Essas mudanças tiveram impacto nos seres vivos, causando a extinção de muitas espécies e o aparecimento de outras.

O estudo do clima e da vegetação no passado utiliza uma série de métodos para reconstruir as condições físicas do ambiente. Esses métodos, entretanto, são diferentes conforme a escala de tempo que se deseja abranger. O clima, há algumas dezenas de anos, está bem conhecido para muitos lugares graças aos registros de estações meteorológicas, sendo possível a partir daí extrapolar para a região



em torno. À medida que se quer dados mais antigos, a informação vai se tornando mais escassa. Há cem anos havia muito menos estações meteorológicas, há duzentos anos só existia uma, recém-montada na cidade de Paris.

A descrição da vegetação que existiu em uma região só começa a ser precisa a partir do final do século passado com a famosa monografia de E. Warming sobre a região de Lagoa Santa, em Minas Gerais.<sup>1</sup> Antes disso, os naturalistas davam uma descrição sucinta dos tipos de vegetação de uma região seguida de uma lista, exaustiva ou

não, das plantas e animais que ocorriam ali.

Dados históricos precisos podem conter informações indiretas ou qualitativas sobre o clima e a vegetação. Entre eles estão os documentos históricos e os relatos de viajantes. Outra fonte de informação são os diários de bordo de navios mercantes e de guerra que, desde o início das grandes navegações, fornecem dados preciosos para o conhecimento das condições climáticas nos oceanos. Para o Brasil, há os relatos dos grandes naturalistas do século passado, que viajaram por muitas partes e deixaram

suas impressões. Mas nenhum desses relatos tinha a finalidade de medir temperaturas, ventos ou pluviosidade, nem sequer de descrever o clima. As informações que extraímos deles são geralmente qualitativas, fragmentárias e muitas vezes superficiais. Para informações de épocas mais antigas e para uma descrição histórica contínua, é necessário recorrer a outros métodos.

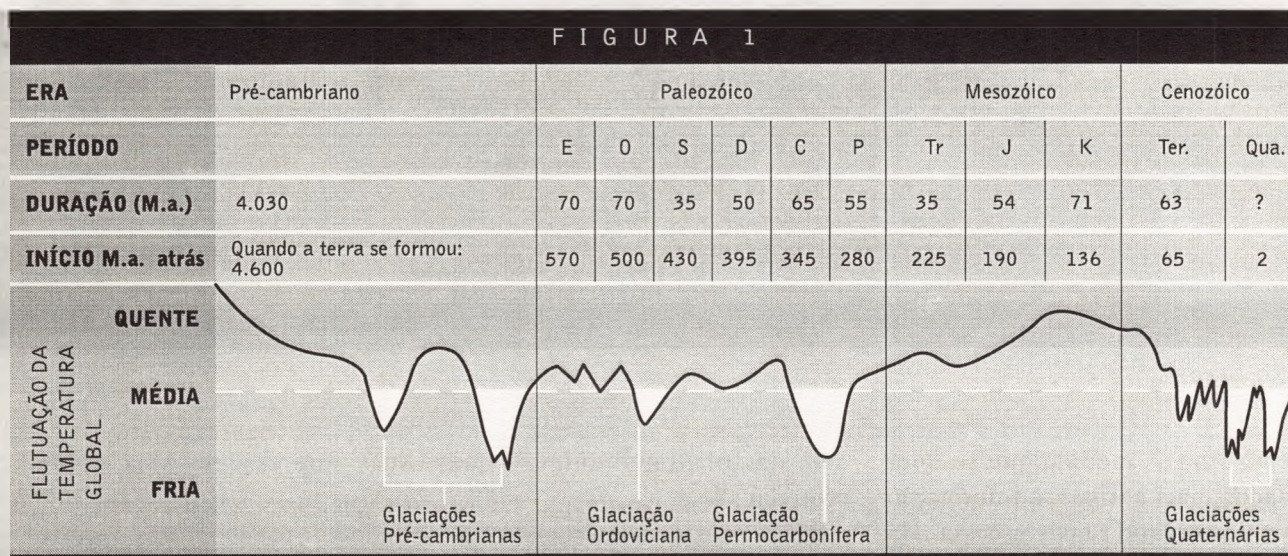
O estudo paleoecológico utiliza pelo menos quatro escalas de tempo. Duas delas, referidas no parágrafo anterior, são a pequena escala histórica com registro quantitativo

e a escala histórica secular com registro qualitativo. Uma terceira escala representa os últimos quarenta milênios, na qual há bastante informação sobre vegetação e clima baseada em fósseis, com boa datação. Essa escala de tempo será discutida em detalhe neste artigo. Por fim, há uma escala maior, denominada escala geológica, que utiliza fósseis e dados de geologia física e cuja datação se mede em muitos milhares ou milhões de anos.

Na maior escala, sabemos pelos estudos geológicos que o clima na Terra não foi constante e que houve tempos de clima ameno e tempos de clima muito frio em que grandes extensões de terra

estavam cobertas de gelo.<sup>2</sup> Esses tempos frios são denominados glaciações, ou “Idades do Gelo”, há muitos anos bem conhecidas em geologia, porque deixaram registros em rochas ou na superfície dos continentes. Várias Idades do Gelo ocorreram na parte mais antiga da história da Terra, até cerca de 250 milhões de anos atrás (Fig. 1). Depois veio um intervalo de tempo, entre 250 e 65 milhões de anos atrás, com um clima quente e sem registro de glaciações. No início do Cenozóico, a temperatura da Terra começou a descer lentamente, e nestes últimos dois milhões de anos, durante o Quaternário, ocorreram as últimas glaciações (Fig. 1).

Até pouco tempo atrás se pensava que existiram pelo menos quatro ou cinco grandes glaciações quaternárias para o continente europeu, intercaladas com curtos períodos interglaciais, de clima mais ameno, semelhante ao atual (Tab. 1). Hoje sabemos que foram cerca de 16 glaciações, umas mais fortes, outras mais suaves. A pergunta que se fazia há uns trinta anos era se essas glaciações seriam específicas da Eurásia ou se ocorriam também em outros continentes. Aos poucos foram sendo encontrados registros de antigas glaciações no Quaternário da América do Norte, da Antártida e das altas montanhas nas zonas tropicais. Essas ocorrências mostraram que as grandes



**Figura 1.** Curva geral da temperatura ao longo do tempo geológico segundo *Encyclopaedia Britannica & China Encyclopaedia* (adaptada de Suguio e colaboradores)<sup>4</sup>. Há quatro grandes Idades do Gelo no passado remoto, seguidas de um tempo grande em que não há evidência de glaciações (Mesozóico e início do Terciário). Nos últimos 5 milhões de anos há uma série de glaciações, cuja mais recente começou há cerca de 100 mil anos e terminou há uns 12 mil anos.

glaciações quaternárias foram de caráter global e envolveram toda a Terra.<sup>2,3</sup>

A última glaciação, denominada Würm para o vale superior do Rio Reno e Wisconsin para a América do Norte (Tab. 1), ocorreu entre cerca de cem mil anos e 14 mil anos atrás. Atualmente, estamos em um período interglacial, denominado Holoceno. Porém, se a tendência continuar, o clima de toda a Terra deverá outra vez esfriar, as geleiras avançarão e o gelo aumentará nas calotas polares e nas altas montanhas.

Esses grandes eventos climáticos intercalando épocas de muito frio e épocas mais amenas só

começaram a ser mais bem compreendidos e descritos muito recentemente. Até uns quarenta anos atrás, era impossível uma descrição contínua da evolução do clima ao longo de milhares e mesmo milhões de anos. A partir dos anos 1960, começaram a ser desenvolvidos métodos que permitem o estudo detalhado da evolução do clima no passado, de forma que hoje em dia já temos muita informação para os últimos milênios e já é possível se fazer uma reconstrução histórica do clima e da vegetação para muitas regiões da Terra. Os resultados dos últimos 40 mil anos para as Américas serão discutidos neste artigo.

## PALINOLOGIA E VEGETAÇÃO

A palinologia estuda tradicionalmente os grãos de pólen e os esporos de pteridófitas. Nas análises palinológicas para levantar informações paleoclimáticas, utilizam-se também algumas algas microscópicas que se preservam junto com o pólen. Os microfósseis resultantes são denominados palinomorfos, e a principal característica que têm em comum é a de serem envolvidos por uma membrana constituída por uma substância orgânica muito resistente e elástica denominada esporopoleína. Esta pode se preservar por milhares ou mesmo milhões de anos, conservando os caracteres morfológicos de forma, relevo e estrutura que permitem identificar a planta ou o microorganismo que os produziu.<sup>5</sup>

O exame sistemático da vegetação no passado começou com a análise do pólen contido em sedimentos. A vegetação produz uma grande quantidade de pólen e também de esporos de pteridófitas (samambaias, fetos, licopódios, selaginelas, etc.). Pólen e esporos são transportados por ventos superficiais e por ventos ascendentes e são dispersados na atmosfera, de onde, eventualmente, começam a cair sobre a superfície da Terra e das águas, o que denominamos “precipitação polínica”. Outro agente transportador de palinomorfos é a água. As águas da chuva limpam a atmosfera de partículas em suspensão, lavam a superfície do solo e das plantas e carregam os grãos de pólen, os esporos e outras partículas orgânicas e inorgânicas para dentro de lagoas, lagos, mares e pântanos, onde são depositados juntamente com sedimentos inorgânicos. Esse depósito vai sendo acumulado no fundo

**TABELA 1**  
**AS PRINCIPAIS GLACIAÇÕES DO QUATERNÁRIO**  
**EM DIFERENTES PARTES DO MUNDO\***

ALPES E RENO	ILHAS BRITÂNICAS	NORTE DA EUROPA	AMÉRICA DO NORTE	POSIÇÃO NO PLEISTOCENO
WÜRM	NEWER DRIFT	WEICHSEL	WISCONSIN	Superior
Riss-Würm	Ipswichian	Eemian	Sangamon	Superior
RISS	GRIPPING	SAALE	ILLINOIAN	Superior
Mindel-Riss	Hoxnian	Holstein	Yarmouth	Médio
MINDEL	LOWESTOFT	ELSTER	KANSAN	Médio
Gunz-Mindel	Cromerian	Cromenian	Aftonian	Médio
GUNZ			NEBRASKAN	Inferior
Donau-Gunz				Inferior
DONAU (Danúbio)				Inferior

\* Nomes das glaciações em letras maiúsculas; nome das interglaciações em minúsculas.



Uma vegetação rala, com cactos (como os mandacarus e os facheiros), com barrigudas e outras plantas de caatinga indica-nos um clima semi-árido, e assim por diante. O uso desse método permitiu a constatação de que o clima não foi constante nem sequer nos últimos séculos. Houve mudanças drásticas e mudanças suaves que ficaram registradas nos sedimentos.<sup>5,6</sup> A reconstrução da vegetação que existiu nas diferentes regiões da Terra, feita pela análise de palinórfos em sedimentos, permite, dessa forma, estimar o clima no passado.

#### OUTROS MÉTODOS DE ESTUDO DAS MUDANÇAS E OSCILAÇÕES PALEOCLIMÁTICAS

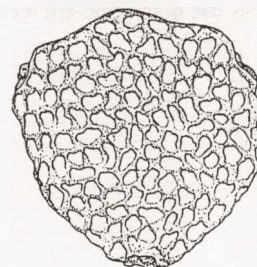
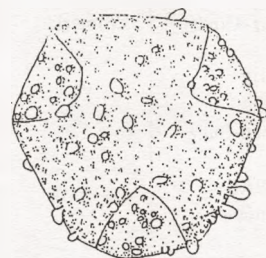
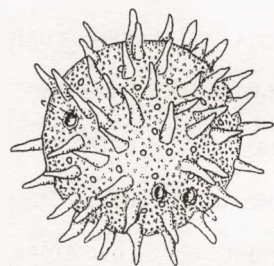
Além da análise de pólen e esporos em sedimentos lacustres, palustres e marinhos, existem outros métodos independentes que dão informações, principalmente

desses lagos, mares e pântanos, ano após ano, formando camadas sucessivas de sedimento que contêm pólen e esporos não só da vegetação aquática onde se acumulou o sedimento como da região em torno da área de deposição.

Ao estudar os palinórfos extraídos de um depósito é possível identificar de que plantas eles são provenientes e com isso reconstruir a vegetação da área em volta do local de deposição. Os depósitos estão em ordem estratigráfica, o que quer dizer que a camada inferior contém pólen e esporos da vegetação mais antiga e sobre ela vão se acumulando camadas contendo palinórfos em ordem cronológica até a superior, que é a mais moderna. Se essas camadas são datadas com carbono 14 ou outro método qualquer de datação,

temos a data de quando se iniciou a deposição e as datas em que ocorreram mudanças na cobertura vegetal. Se soubermos os tipos de vegetação em cada camada, podemos inferir o clima na época em que esse material estava sendo depositado. Usando essa metodologia, tem sido possível reconstruir a vegetação no passado e conhecer as condições climáticas em que as plantas viviam.

A presença de uma vegetação de cerrado entremeada com matas secas há cinquenta anos, um século, um milênio indica-nos que o clima era semelhante ao que temos hoje nas áreas cobertas por cerrados no Sudeste e no Centro-Oeste do Brasil. A presença de uma mata úmida, com cipós e epífitas, indica-nos um clima com chuvas abundantes durante todo o ano.



sobre paleotemperatura. Um método que está sendo desenvolvido analisa os anéis de crescimento de árvores de zonas temperadas. Estes se formam no tronco das árvores durante o verão e são mais espessos quando o clima é mais quente.<sup>3</sup> Esse método começa a dar boas informações sobre a temperatura anual e é utilizado para calibrar as idades obtidas com radiocarbono (<sup>14</sup>C), porém é limitado às zonas de clima temperado e somente aos últimos milênios.

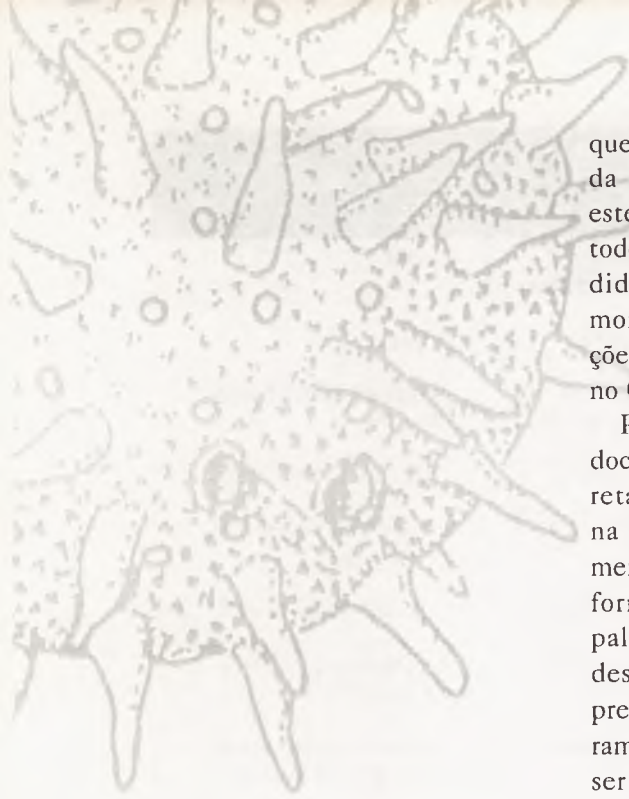
Estudos de isótopos estáveis de oxigênio em carapaças de micro-organismos aquáticos (como foraminíferos e ostracodes), em estalagmites e em gelo antártico e ártico também dão informações sobre temperatura.<sup>7, 8</sup> Uma outra técnica muito recente permite saber a paleotemperatura por meio do estudo de gases nobres dissolvidos em águas subterrâneas. A água armazenada nos lençóis freáticos guarda a memória da temperatura que fazia quando ela penetrou no solo porque mantém a relação de gases característica dessa temperatura.<sup>9</sup> O estudo das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil mostra que a temperatura nas caatingas foi, em média, 5,4 °C mais baixa que hoje durante o período correspondente ao máximo da última glaciação, isto é, entre 28 mil e 20 mil anos atrás (Tab. 2). Todos esses métodos independentes confirmam-se e reforçam-se mutuamente e melhoram os nossos conhecimentos sobre o clima no passado.

Uma maneira de se conhecer a composição atmosférica no passado é pelo estudo de bolhas de ar que ficaram presas dentro de geleiras. O gelo acumulado na Antártida e na Groenlândia conserva essas bolhas de ar por milênios, o

**TABELA 2**  
**MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS ANDES TROPICAIS,**  
**ACIMA DE 3.000 M DE ALTITUDE.**

PERÍODO	IDADE POR RADIOCARBONO*	CLIMA
<b>HOLOCENO</b>	Zero a 100 AP	ATUAL
	100 a 500 AP* (sec. 16 a sec.19)	PEQUENA IDADE DO GELO Clima frio
	500 a 900 AP	FASE CÁLIDA MEDIEVAL
	2.000 a 3.000 AP	Um pouco mais quente que o clima atual
	3.000 a 3800 AP	Clima semelhante ao atual
	3.800 a 5.000 AP	Um pouco mais quente que o clima atual
	5.000 a 5.800 AP	Mais seco e um pouco mais quente que o clima atual
	5.800 a 9.500 AP	Clima semelhante ao atual
<b>Final do Holoceno. Início do PLEISTOCENO Superior</b>	9.500 a 10.000 AP 10.000 a 12.000 AP	Clima mais frio que o atual. Estadial El Abras e Miranda.
	12.000 a 12.800 AP	Clima semelhante ao atual. Interstadial Guantiva e Mucubaji
	12.800 a 14.000 AP	Deglaciação – todas as geleiras e lençóis de gelo estão regredindo; mais água entra na atmosfera e no mar; aumento do nível do mar.
	14.000 a 20.000 AP	Clima frio e seco; final da glaciação Würm-Wisconsin.
	20.000 a 24.000 AP	Clima muito frio e muito seco. Nível do mar na posição mais baixa, -120 a -150 m abaixo do atual. Pleniglacial Superior (LGM)
	24.000 a 28.000 AP	Clima frio e seco. Nível do mar -120 a -150 m abaixo do atual. Pleniglacial Superior (LGM)
	28.000 a 36.000 AP	Clima frio e úmido Pleniglacial Médio
	36.000 a cerca de 100.000 AP	Glaciação Würm-Wisconsin
	100.000 AP*	Início da glaciação.

\* AP = anos antes do presente.



que permite analisar a composição da atmosfera do tempo em que este ar foi preso no gelo. Esse método, que agora está sendo estendido para as geleiras nas altas montanhas, está dando informações muito boas sobre a atmosfera no Quaternário superior.

Para a Europa, onde existem documentos que descrevem indiretamente o clima e a vegetação na Idade Média e no Renascimento, foi possível comparar as informações históricas com as de paleovegetação e paleoclima e, dessa forma, conhecer com mais precisão as épocas em que ocorreram mudanças. O mesmo poderia ser feito para civilizações antigas, como a japonesa, a chinesa, a indiana, a árabe e outras que têm documentos escritos.

Sabemos que entre os séculos XVI e XIX o clima da Europa foi mais frio que o atual, os invernos eram mais fortes e as geleiras nos Alpes e em outras montanhas chegavam a altitudes mais baixas que hoje. Esse tempo foi denominado “A Pequena Idade do Gelo”. Essa época foi precedida por um clima mais ameno que se denominou “O Período Cálido Medieval”. Essas mesmas oscilações ocorreram nas montanhas tropicais (Tab. 2), mostrando que foram eventos globais envolvendo todo o planeta. Atualmente, essas e outras oscilações destes últimos 5 mil anos estão sendo estudadas com mais detalhe.

Em uma escala maior de tempo, estão sendo estudados os últimos 40 mil anos, que incluem a época na qual a temperatura da Terra chegou ao seu ponto mais baixo nos últimos cem mil anos, o que ocorreu durante a mais recente “Grande Idade do Gelo” (Würm, Wisconsin, Tab. 2). Por ter sido a última, é a glaciação que melhor

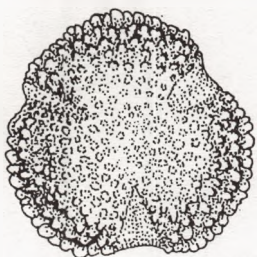
conhecemos. Ela chegou ao pleniglacial máximo (LGM, Last Glacial Maximum) entre 28 e 20 mil anos atrás, com temperaturas da ordem de 5 °C a 9 °C abaixo da atual, dependendo da região. A partir de 14 mil anos AP (Antes do Presente), a temperatura global da Terra começou a subir e as geleiras iniciaram sua regressão com flutuações até que, entre 9 mil e 7 mil anos AP, atingiram as posições que ocupam hoje.

A consequência direta do degelo e da redução das áreas cobertas por gelo glacial foi a subida do nível do mar. Durante as glaciações, boa parte das plataformas continentais estava emersa, pois uma grande quantidade de água estava presa nas geleiras e o mar regrediu de 100 a 120 metros em profundidade. À medida que o gelo glacial foi derretendo em razão da subida da temperatura em toda a Terra, mais água entrou em circulação e elevou o nível dos oceanos até atingir a posição atual fazendo com que os mares invadissem os continentes e submergissem parte das plataformas.<sup>2,3</sup>

## **O CLIMA E A DIVERSIDADE DOS SERES VIVOS**

Para explicar a grande diversidade de espécies nos trópicos que causou espanto aos naturalistas do século passado e do início deste século, muitos ecólogos, como C. J. Krebs em seu livro sobre distribuição e abundância de espécies,<sup>10</sup> postularam que nas terras baixas tropicais a temperatura sempre se mantivera quente e estável, mesmo durante o máximo das grandes glaciações. Enquanto a temperatura na Europa, na América do Norte e nos cumes das altas montanhas efetivamente baixou mais de 7 °C, regiões como a Amazônia

# DIVER



e os cerrados não teriam mudado nada. A estabilidade climática permitiria que árvores e animais das florestas úmidas tropicais fossem evoluindo e formando novas espécies. Porém, como não estavam sujeitas a mudanças climáticas fortes, não haveria extinções, e espécies antigas e novas conviveriam harmoniosamente, resultando numa grande diversidade de espécies. Do ponto de vista da física, é mui-

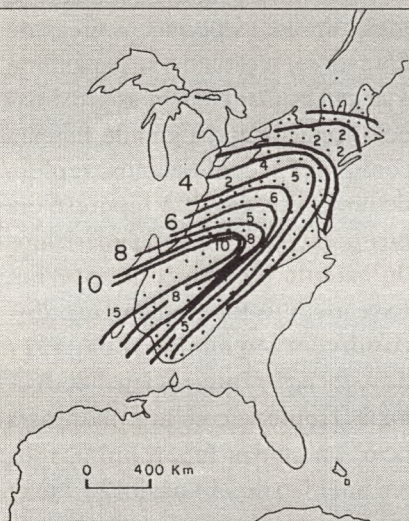
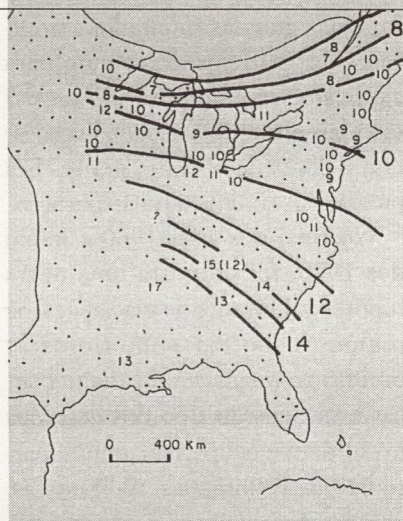
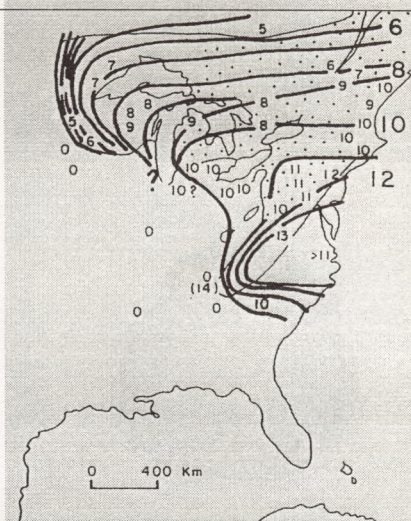
to difícil explicar esse forte gradiente de temperatura com frio intenso acima de 2.000 m e calor no sopé das grandes montanhas tropicais. Os artifícios de cálculo para explicar esse gradiente (*lapse rate*) tão mais alto que o atual não chegaram a convencer muita gente. Era preciso buscar uma outra explicação.

No final dos anos 1960 e início dos 1970, foi proposta uma outra hipótese. Durante as glaciações, as regiões cobertas com florestas úmidas tropicais começariam a secar e savanas do tipo dos cerrados invadiriam e ocupariam grande parte das áreas florestais. As florestas, como a Amazônia, fragmentar-se-iam e ficariam restritas a pequenas áreas de refúgio, geralmente nas partes altas, onde haveria ainda suficiente pluviosidade para mantê-las. Nessas áreas, restritas e isoladas como “ilhas” em um grande “mar” de savanas, árvores e animais estariam isolados reprodutivamente dos outros de suas espécies, que viviam em outras áreas de refúgio. As especiações que ocorressem em cada refúgio produziriam organismos diferentes

dos de outros refúgios e da grande floresta original. Quando a aridez terminasse e o clima se tornasse mais úmido, as pequenas áreas de floresta começariam a se expandir e a se amalgamar com áreas próximas e se reconstruiria a grande floresta como hoje a conhecemos, repleta de novas espécies.<sup>11</sup> A hipótese era boa e não exigia os malabarismos de cálculo da hipótese anterior. Esse assunto foi amplamente discutido em um simpósio em 1979 da Associação Internacional de Biologia Tropical, e os argumentos a favor ou contra foram publicados em um livro de 714 páginas.<sup>12</sup> Nele, os pesquisadores que trabalhavam com análise de pólen e paleoecologia refutaram o conceito de área de refúgio apresentado pelos biólogos.

Os estudos de análise de pólen já mostravam um quadro diferente. Até agora ainda existem poucos estudos paleoecológicos em áreas de floresta, e os que já temos não encontraram ainda as áreas de refúgio postuladas nos anos 1970. Por exemplo, o proposto refúgio de floresta úmida em Rancho Grande, na Venezuela,<sup>11, 12</sup> não existiu. Realmente houve um período muito seco no final do Pleistoceno naquela região, e o Lago de Valência, hoje com 40 m de profundidade, estava seco. Porém, as montanhas em volta do lago não estavam cobertas de matas úmidas (conhecidas como “selva nublada”), e sim de matas secas. Eu acho que se houve mata úmida na região, esta não estaria nas encostas do lado do lago onde se propôs o refúgio florestal, mas sim nas encostas da Cordilheira da Costa, que estão de frente para o Mar Caribe. Essas encostas recebem os ventos alísios úmidos que trazem do mar a alta pluviosidade necessária para

**Os estudos de reconstrução da vegetação no passado não confirmaram os refúgios florestais postulados, mas mostraram uma história evolucionária muito mais complexa, na qual as comunidades de plantas foram mudando ao longo do tempo**

Castanheiro (*Castanea dentata*)Carvalho (*Quercus* spp.)Pinheiro Branco (*Pinus Strobus*)

manter uma mata úmida, isto é, com uma precipitação da ordem de 2.000 3.500 mm anuais.<sup>13</sup>

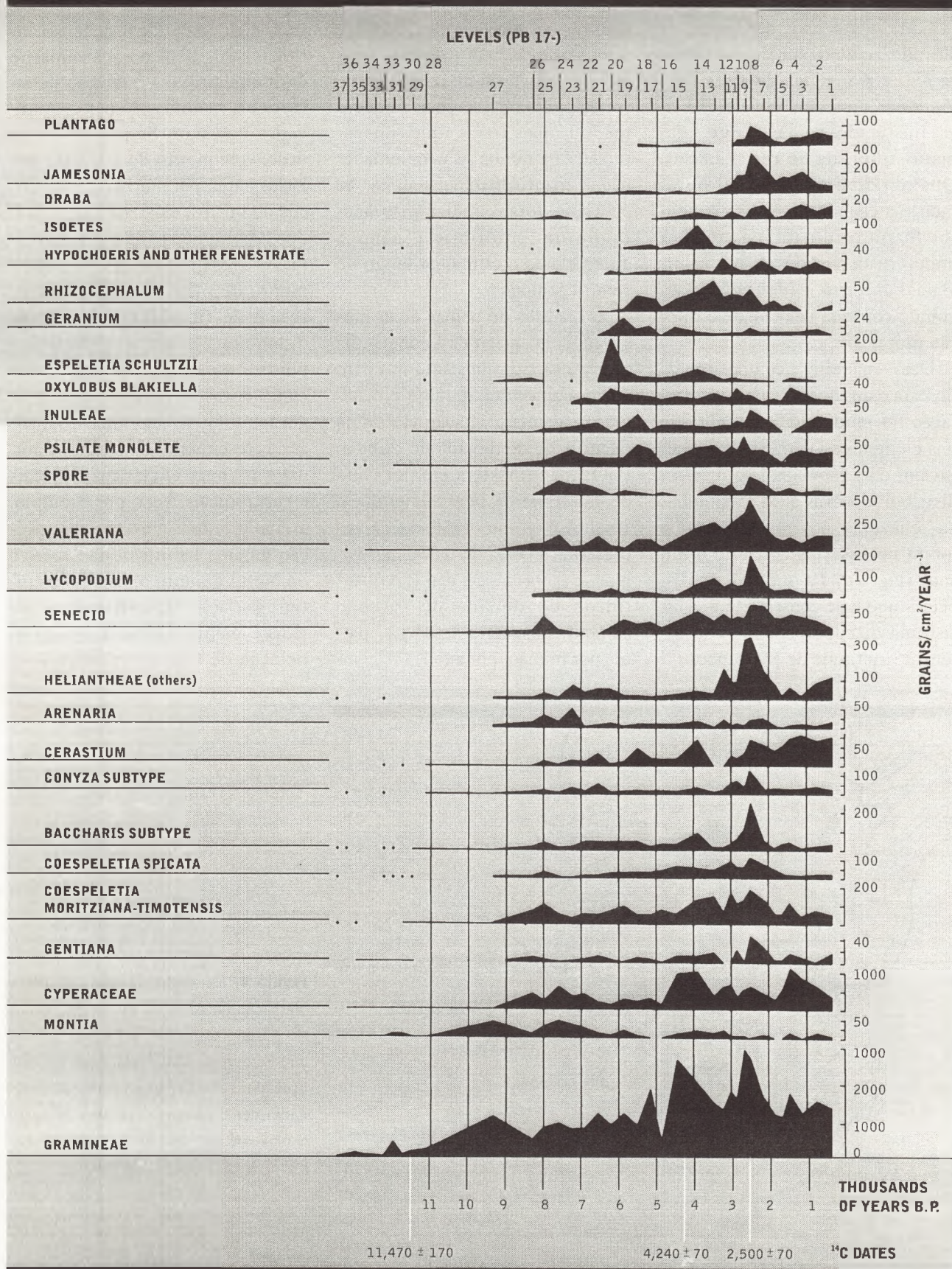
Os estudos de reconstrução da vegetação no passado não confirmaram os refúgios florestais postulados, mas mostraram uma história evolucionária muito mais complexa, na qual as comunidades de plantas foram mudando ao longo do tempo. As florestas não ficaram intactas, ainda que reduzidas a uma pequena área, nem se deslocaram como um todo levando suas árvores e animais para regiões de clima mais propício ao seu estabelecimento. A análise de pólen em sedimentos mostrou que, quando o clima começou a mudar, as espécies de plantas sobreviveram, porém comportaram-se de maneira diferente e individual. Cada espécie deslocou-se independentemente das outras, com velocidade e direção próprias para regiões onde pudesse viver. A composição da floresta ou de outros tipos de vegetação foi mudando à medida que seus elementos foram ocupando outras regiões quando o clima

foi se tornando inóspito. Isso é fácil de compreender se levarmos em conta que a capacidade de dispersão das sementes, a sua germinação, seus requerimentos de solo e muitos outros fatores que regulam o estabelecimento de uma planta são diferentes para cada espécie. Margaret Davis<sup>14</sup> mostrou que, à medida que o clima esfriava pela entrada de uma nova glaciação na América do Norte, as plantas começavam a crescer mais para o Sul, onde a temperatura não era tão fria. Os componentes da floresta decídua norte-americana separaram-se, passando a viver em diferentes regiões do Sul (Fig. 3). Nas altas montanhas também houve migração, e a vegetação montana começou a crescer em áreas mais baixas. À medida que as plantas avançavam para regiões mais quentes, encontravam o território ocupado por outra vegetação e era necessário um reajuste entre elas. Dessa forma, surgia uma comunidade vegetal com uma composição diferente. Estudos palinológicos de P. A. Colinvaux e colaboradores

**Figura 2** (acima). Direção de migração de algumas árvores da floresta decídua da América do Norte quando a temperatura global da Terra começou a subir. As espécies arbóreas (pinheiro branco, carvalho e castanheiro) estavam em áreas de refúgio diferentes no sul durante a última glaciação e migraram para o norte por caminhos diferentes e com velocidades próprias até atingirem a região onde crescem hoje e fazem parte da floresta decídua. As curvas ligam os pontos de mesma idade que delimitam a região em que viveu cada espécie, entre 14 mil e dois mil anos atrás. Mapas selecionados e adaptados de Margaret Davis (em Salgado-Labouriau,<sup>3</sup> capítulo 9).

**Figura 3** (ao lado). Sequência de estabelecimento das plantas de superpáramo<sup>16</sup> no cume de uma montanha nos Andes tropicais, depois do degelo da última glaciação. Primeiro chegaram as gramíneas, há mais de 10 mil anos; em seguida, *Montia*, depois as ciperáceas, e assim por diante, até que, há 2.500 anos, o último elemento de superpáramo (*Plantago*) começou a crescer a 4000 m de altitude.<sup>17</sup>

FIGURA 3



no Panamá e na Amazônia<sup>15</sup> mostram que, durante o pleniglacial (LGM), elementos das matas de altitude, como o pinheirinho (*Podocarpus*) e a angélica-da-mata (*Hedyosmum*), cresciam nas partes baixas misturados com elementos das matas tropicais de terras baixas. Quando o clima começou novamente a esquentar, esses elementos foram retornando às regiões onde cresceram durante o interglacial anterior, cada espécie seguindo com sua velocidade e direção próprias.

Dessa maneira, a composição da floresta e dos outros tipos de vegetação foi mudando à medida que uns elementos saíam e outros chegavam, e as espécies foram se redistribuindo. Nas altas montanhas da Venezuela, nós concluímos que foram necessários cerca de 6 mil anos (Fig. 4) para que todas as espécies que hoje constituem o ecossistema de superpáramo<sup>16</sup> chegassem até a altitude de 3.900 metros.<sup>17</sup>

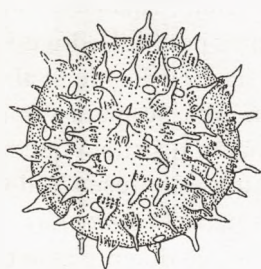
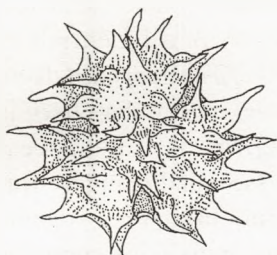
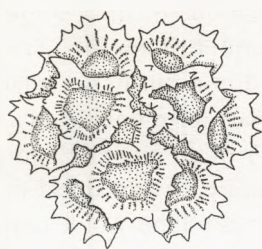
Na maioria das migrações, algumas das plantas que se deslocaram para regiões mais quentes durante uma glaciação não voltaram mais às suas antigas áreas, e outras, ao voltar, passaram a ser mais frequentes ou mais raras que no interglacial anterior. As comunidades não se mantiveram constantes. Ao contrário, foram mudando e mantendo um equilíbrio dinâmico entre elas e o clima, ao longo do tempo geológico.

As análises de bolhas de ar presas no gelo antigo da Groenlândia e da Antártida mostraram, entre outras coisas, que durante o máximo da última glaciação (LGM) a quantidade de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera era por volta de 0,02%, isto é, bem menor que a atual. Até os anos 1950, o  $\text{CO}_2$  representava cerca de 0,03% por volume e agora ainda é maior. A quantidade de dióxido de carbono aumenta hoje cerca de 15 a 17 partes por milhão, por ano.

P. Colinvaux<sup>15</sup> postula que a menor quantidade de  $\text{CO}_2$  durante as Idades do Gelo deve ter influenciado, além do abaixamento da temperatura, a migração de árvores e a modificação nas comunidades florestais. Só poderia haver desenvolvimento de florestas nos locais onde, por motivos topográficos ou outros, existisse um bolsão de  $\text{CO}_2$ . Eu penso de outra maneira. As áreas acessíveis ao crescimento de plantas, nos continentes, e de fitoplâncton, no mar, diminuíram durante as glaciações porque uma parte do mar e dos continentes ficou debaixo de gelo glacial, limitando as áreas propícias ao crescimento de plantas e animais às zonas climáticas tropicais e subtropicais. Veja, por exemplo, a Figura 5, que mostra a diminuição de área habitável na América do Norte durante o máximo da última glaciação. Havendo menos animais e plantas, haveria menos liberação de  $\text{CO}_2$  por respiração e



**Figura 4.** Extensão máxima da última glaciação na América do Norte, segundo o Departamento de Energy, Mines and Resources, do Canadá. As áreas hoje ocupadas pelos Grandes Lagos e pelas cidades de Boston e Nova York estavam debaixo de gelo glacial. Adaptado do capítulo 9, em Salgado-Labouriau.<sup>3</sup>



### O CLIMA DO BRASIL CENTRAL NOS ÚLTIMOS 36 MIL ANOS

A análise de pólen, esporos e algas microscópicas em sedimentos do Brasil Central foi iniciada no final dos anos 1980. Até então não havia dados sobre a vegetação e o clima durante o Quaternário dessa região. Entretanto, havia hipóteses que tentavam explicar a razão de existirem cerrados em vez de florestas nessa região. Um grupo de pesquisadores da Universidade de São Paulo, dirigido por Mário G. Ferri, estudando a fisiologia ecológica dos cerrados, entre os anos 1950 e 1960, acreditava que os cerrados eram o resultado da intervenção do homem que, com o machado e o fogo, destruiu as matas e criou os cerrados.

Opondo-se a esse grupo, Luiz F. G. Labouriau, primeiro trabalhando no Instituto de Botânica de São Paulo e depois na Universidade de Brasília, argumentava que os cerrados eram uma vegetação natural e deveria ser muito mais antiga que isso. Seus principais argumentos eram a presença de mais de mil espécies de plantas superiores (angiospermas) nos cerrados e o fato de que existem pares de espécies taxonomicamente próximas (espécies vicariantes), uma crescendo nos cerrados e a outra nas matas secas da mesma região. Essa diversidade não poderia ter surgido no curto tempo de intervenção humana nos cerrados. Seriam necessários mais do que os quinhentos anos de presença dos europeus no Brasil Central. Mesmo que a população indígena utilizasse o fogo em queimadas, ela era muito pequena até 5 mil anos atrás, e mesmo que suas queimadas fossem freqüentes, cinco ou dez mil anos ainda seria pouco tempo para a criação de tantas es-

pécies resilientes ao fogo e da associação delas em um tipo novo de vegetação, como é a vegetação dos cerrados.<sup>18</sup> Esse problema só começou a ser esclarecido agora, com a análise palinológica dos cerrados.

Estudos iniciados por nós em 1990, no Laboratório de Paleoecologia e Palinologia da Universidade de Brasília, já apresentam um quadro da evolução da vegetação e do clima nos últimos 36 mil anos. Utilizamos sedimentos de vereda dentro de um cerrado, em Cromínia, GO,<sup>19</sup> e na Vereda de Águas Emendadas, DF.<sup>20</sup> Estudamos também os sedimentos lacustres de Lagoa Santa, MG.<sup>21</sup>

As análises desses sedimentos do Brasil Central revelaram que há mais de 32.400 anos havia áreas alagadas onde cresciam vereda<sup>22</sup> com buritis (*Mauritia*), gramíneas, plantas de brejo, como *Potamogetum*, *Drosera*, *Ludwigia*, etc. e samambaias aquáticas (*Isoëtes*).

por decomposição de matéria orgânica. Portanto, a diminuição do dióxido de carbono na atmosfera é um efeito e não uma causa da distribuição da vegetação durante os períodos glaciais.

Como o tempo de duração de uma glaciação é muito maior que de uma interglaciação, a situação predominante durante o Quaternário foi de clima frio e de menores regiões propícias ao crescimento dos organismos. Os interglaciais, que duraram em média cerca de 20 mil anos, foram interrupções quentes e curtas em contraste com os 100 mil anos de cada Idade do Gelo. O último interglacial, em que estamos, começou há cerca de 12 mil anos.



O pólen de árvores é abundante e diversificado nos sedimentos dessa época, indicando que provavelmente havia matas de galeria e cerrado arbóreo em volta dessas veredas. Essas informações indicam que as vegetações de cerrado e mata semidecídua existiam há mais de 34 mil anos. O clima deve ter sido semi-úmido, porém, com uma estação seca mais curta que a atual (Tab. 3). A grande quantidade de partículas de carvão nos se-

dimentos dessa época indica que as queimadas eram freqüentes. Como não havia indígenas habitando os cerrados dessas regiões, as queimadas devem ter sido produzidas por fogo natural.

Entre 32.390 e cerca de 28.300 anos AP (Antes do Presente), a freqüência de pólen de árvores diminuiu muito, inclusive o de buriti. As algas microscópicas e o pólen de plantas aquáticas e de gramíneas continuam abundantes,

o que indica que o clima era úmido, mas a quantidade de árvores na região diminuiu. Essa situação torna-se mais forte entre cerca de 28.000 e 19.000 anos AP, pois a quantidade de árvores decaiu drasticamente nesse intervalo de tempo. As árvores de cerrado praticamente desaparecem, e as de mata são espécies que ocorrem hoje nas florestas montanas do Brasil Central: canjiquinha (*Rapanea*), angélica-da-mata (*Hedyosmum*), congonha (*Ilex*), juá-mirim (*Celtis*), as Cunoniáceas e outras. Esse quadro sugere que a temperatura baixou e a vegetação de regiões mais frias começou a crescer nas áreas de cerrado do Brasil Central.<sup>24</sup> Análises palinológicas feitas por M. Ledru e P. de Oliveira na região de Salitre, MG,<sup>23</sup> em área de mata semidecídua também registram queda na temperatura e a presença do pinheiro-do-paraná (*Araucaria*) crescendo na região durante esse tempo. Nessa época, a glaciação nos Andes e nas zonas temperadas da Terra atingiu as temperaturas mais baixas (LGM, Tab. 2), e nas caatingas do Nordeste brasileiro a temperatura era cerca de 5 °C abaixo da atual, segundo Stute e colaboradores.<sup>9</sup> É possível que o abaixamento da temperatura nos cerrados tenha sido da mesma ordem. Os trabalhos nessa direção estão em andamento.

Entre cerca de 19.000 e 11.000 AP, o clima foi se tornando seco. O platô da Vereda das Águas Emendadas desertificou-se,<sup>20</sup> e em Cromínia<sup>19</sup> houve uma diminuição muito grande de palinó-morfos, o que indica que o pequeno pântano no local da perfuração era cercado por uma vegetação rala de gramíneas. No topo da Serra de Carajás, na região amazônica, onde também cresce uma savana do tipo

**TABELA 3**  
**MUDANÇAS E OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS NO QUATERNÁRIO DA**  
**REGIÃO DE CERRADOS NO BRASIL CENTRAL**

<b>IDADES POR RADIOCARBONO (anos AP)</b>	<b>CLIMA E VEGETAÇÃO</b>
<b>ZERO a 4.600 AP</b>	Vegetação e clima atual. Vegetação de cerrado arbóreo, matas semi-decíduas e veredas. Clima semi-úmido.
<b>4.600 a 5.000 AP</b>	Formação da Lagoa Santa.
<b>ca. 5.000 a 7.000 AP</b>	Fase de transição entre clima semi-úmido e clima seco. Vegetação menos densa que a atual. Precipitação pluvial menor que a atual, porém com chuvas torrenciais esparsas, grandes deslizamentos de terra e depósitos de aluvião.
<b>ca. 7.000 a 11.000 AP</b>	Cerradão em Lagoa Santa; cerrado arbustivo nas outras áreas, poucas matas, ausência de veredas. Pântanos e brejos secam periodicamente. Platôs estão desertificados. Clima quente e muito seco.
<b>ca. 11.000 a 19.000 AP</b>	Cerrado arbustivo ou campo, poucas matas, com árvores de clima mais frio; alguns pântanos nas depressões, ausência de veredas. Clima seco e frio.
<b>ca. 19.000 a 28.000 AP</b>	Cerrado com poucas árvores, domínio de gramíneas e ervas; matas com elementos de clima mais frio; ausência de veredas, mas plantas aquáticas abundantes, em pântanos. Clima mais frio que o atual, com umidade aumentando na parte mais antiga.
<b>ca. 28.000 a 32.400 AP</b>	Fase de transição na qual a diversidade de plantas diminui, poucas árvores, poucos buritis, poucas gramíneas e outras ervas. Clima úmido e mais frio que o atual.
<b>Mais de 32.400 anos AP</b>	Vegetação semelhante à atual com cerrado arbóreo, matas secas, semidecíduas; vereda e pântanos. Clima semelhante ao atual, provavelmente um pouco mais úmido.

cerrado, a sedimentação parou durante esse tempo,<sup>25</sup> o que sugere que em Carajás também houve desertificação.<sup>24</sup>

No Brasil Central, a fase seca continuou até cerca de 7.000 AP, indicando que o começo do Holoceno também foi bem mais seco que hoje (Tab. 3). Se o compararmos com o clima no norte da América do Sul, tanto em Carajás como no Lago de Valência, na Venezuela, o final do Pleistoceno foi seco como no Brasil

Central. Porém, no norte, a umidade começou a aumentar a partir de cerca de 10.500 AP, e o início do Holoceno tinha um clima semi-úmido semelhante ao atual.<sup>13, 24</sup>

Entre 7.000 e 5.000 AP, começa no Brasil Central uma fase de transição para um clima relativamente mais úmido (Tab. 3). Os buritis voltam a crescer na região de Goiás (Fig. 5), enquanto os cerrados e as matas secas adquirem uma composição florística seme-

lhante à atual. Os trabalhos de Suguio e colaboradores<sup>26</sup> e de Parizzi e colaboradores<sup>21</sup> indicam que durante esse tempo houve deslizamentos de terra e grandes acúmulos de sedimentos nos rios, o que mostra que essa foi uma época de chuvas torrenciais no Brasil Central. Na região de Lagoa Santa, Minas Gerais, por volta de 4.600 AP, começa a se formar a Lagoa Santa. A partir daí, o clima e a vegetação mantiveram os padrões atuais, com muito pouca variação no Brasil Central.

A descrição acima ainda é muito geral. Porém, informações mais detalhadas devem surgir à medida que outros locais forem estudados no Brasil Central. Entretanto, esses resultados já mostram que as regiões de cerrado estavam sob um forte *stress* hídrico durante o final da última glaciação.

#### PERSPECTIVAS DA PALEOECOLOGIA

A reconstrução da vegetação e do clima e sua evolução no passado é um conhecimento importante por si mesmo e dá uma melhor compreensão da inter-relação entre vegetação, clima e solo. As informações que esses estudos levantam podem ser aplicadas diretamente em outros ramos da ciência, como em geomorfologia, para explicar e datar certos tipos de relevo.

Saber o tipo de vegetação e o clima nos quais as populações humanas viveram permite ampliar as conclusões históricas e arqueológicas e algumas vezes pode explicar fatos que ocorreram. Secas prolongadas, inundações frequentes, invernos muito rigorosos, quando se repetem por centenas ou milhares de anos, tanto podem resultar em fome, em migração, em mudanças de técnicas agrícolas e de pastoreio, como podem destruir



**Figura 5.** Palmeiras de buriti (*Mauritia vinifera*) em uma vereda de Goiás.<sup>22</sup>

povoações e tornar inviáveis as cidades. É possível que o declínio da civilização Tiwanaku, entre 1100 AD e 1400 AD, nas margens do Lago Titicaca (veja o artigo de Binford e colaboradores na observação),<sup>8</sup> tenha sido devido a um período de aridez que ocorreu nessa época. A ocorrência de um longo período seco no Brasil Central pode ter freado o aumento populacional na região até 6 mil anos atrás; o início das chuvas, entre 7 e 5 mil anos AP, e o estabelecimento de um clima relativamente mais úmido daí em diante

devem ter contribuído para o crescimento da população indígena na região central do Brasil.

Programas de computador estão sendo desenvolvidos para simular o clima da Terra. Mas clima é um problema complexo que envolve um número muito grande de variáveis e algumas incertezas em fatores-chave. As informações sobre tipos de vegetação e densidade da cobertura vegetal, sobre variação de temperatura e quantidade de umidade no passado estão sendo utilizadas para melhorar e testar as simulações de variações sazonais e

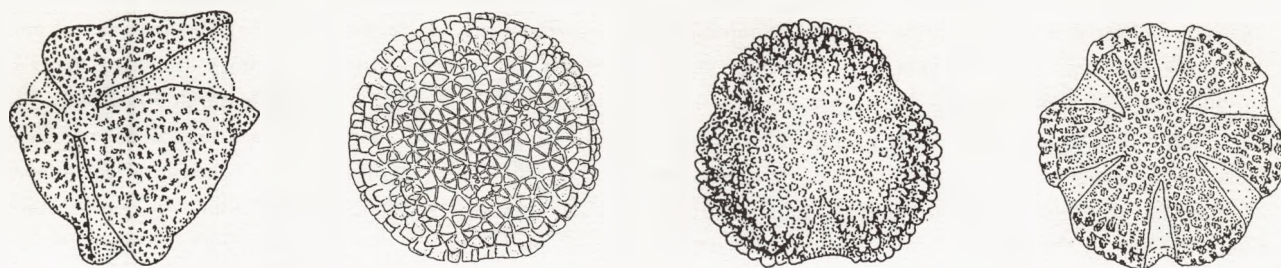
milenarios. Esses modelos estão se tornando cada vez mais precisos e já são tomados a sério para a projeção do clima do futuro. \*

#### **Maria Léa Salgado-Labouriau**

Professora titular aposentada da Universidade de Brasília, fez o curso de História Natural na UFMG e tem o doutorado pela USP; é autora de livros, artigos científicos e de divulgação. Foi pesquisadora titular do Instituto Venezuelano de Investigação Científica (Ivic), Venezuela, diretora do Clab (Unesco) e é fellow da Fundação Guggenheim.



Maurício Borges



## referências bibliográficas

- <sup>1</sup> Este trabalho de Warming é considerado como o marco inicial da ecologia como ciência. Foi publicado em dinamarquês no final do século passado e depois traduzido para vários idiomas. A tradução em português foi feita pelo eminente botânico A. Loefgren, em 1908: *Lagoa Santa - contribuição para a geographia phytobiologica*, Belo Horizonte, Imprensa Oficial do Estado de Minas Geraes. Uma edição fac-símile foi feita em 1973 pela Editora Universidade de São Paulo/Editora Itatiaia que, infelizmente, tem na capa o nome do autor junto com o nome de M. Ferri, o que dá a falsa impressão de que a obra é uma colaboração dos dois.
- <sup>2</sup> As descrições dessas Grandes Idades do Gelo podem ser encontradas em livros como: Tarbuck, E. J. e Lutgens, F. K., 1988, *Earth science*, 5ª edição, Merrill Publ. Co.; Stokes, W. L., 1982, *Essentials of Earth history*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, EUA; Andersen, B. G. e Borns Jr., H. W., 1994, *The Ice Age World*, Scandinavian University Press.
- <sup>3</sup> Salgado-Labouriau, M. L., 1996, *História ecológica da Terra*, 2ª edição, São Paulo, Editora Edgard Blücher, 307 p.
- <sup>4</sup> Nesta figura, a idade em que se iniciam alguns dos períodos geológicos não segue as datas recomendadas pela União Internacional de Ciências Geológicas (1996). Este é o caso do Triássico, que é considerado como iniciando a 250 milhões de anos pela maioria dos pesquisadores, e não a 225 M.a., como está na figura. Esta curva de temperatura foi publicada recentemente no artigo: Suguio, K., Turcq, B. e Cordeiro, R. C., 1996, On the paleoclimates of the last 60 ky in the Eastern Amazon, *An. Acad. Brasil. Ci.* 68 (Supl. 1):101-107.
- <sup>5</sup> Faegri, K. e Iversen, J., 1989, *Textbook of Pollen Analysis*, 4ª edição, Nova York, J. Wiley & Sons, 328 p.
- <sup>6</sup> Salgado-Labouriau, M. L., 1973, *Contribuição à palinologia dos cerrados*, Rio de Janeiro, Editora Academia Brasileira de Ciências, 290 p.
- <sup>7</sup> Salgado-Labouriau, M. L., 1984, Reconstrucción del ambiente a través de los granos de polen, *Investigación y Ciencia (Scientific American)* nº 96, septiembre, p. 6-17.
- <sup>8</sup> O trabalho fundamental é: Urey, H. C., 1947, The thermodynamic properties of isotopic substances, *J. Chem. Soc. Lond.* 152: 562-581.
- <sup>9</sup> A análise de isótopos estáveis, principalmente de oxigênio, tem sido amplamente usada em trabalhos sobre paleoclima, como por exemplo: Binford, M. W., Kolata, A. L. e outros, 1997, Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization, *Quaternary Research* 47: 235-248.
- <sup>10</sup> Stute, M., Forster, M., Frischkorn, H., Serejo, A., Clark, J. F., Schlosser, P., Broecker, W. S. e Bonani, G., 1995, Cooling of tropical Brazil (5 °C) during the last glacial maximum, *Science*, 269: 379-383.
- <sup>11</sup> Krebs, C. J., 1978, *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*, Nova York, Harper & Sons, 678 p.
- <sup>12</sup> A primeira publicação sobre a Teoria de Refúgios aplicada à Amazônia foi: Haffer, J., 1969, Speciation in Amazonian forest birds, *Science*, 165: 131-137. Seguiram-se muitas outras, que utilizavam a distribuição de outros animais como répteis, borboletas, primatas, etc. Veja observação 12.
- <sup>13</sup> Este livro contém 37 capítulos, escritos por especialistas, abordando o assunto do ponto de vista de geomorfologia, paleoecologia, vegetação e de distribuição de diferentes grupos de animais: Prance, G. T. (editor), 1982, *Biological diversification in the tropics*, Nova York, Columbia University Press, 714 p.

- <sup>13</sup> Salgado-Labouriau, M. L., 1980, A pollen diagram of the Pleistocene-Holocene boundary of Lake Valencia, Venezuela, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 30: 297-312; Salgado-Labouriau, M. L., 1982, Climatic changes at the Pleistocene-Holocene boundary, em Prance, G. T. (editor), *Biological diversification in the tropics*, Nova York, Columbia Univ. Press, p. 74-77.
- <sup>14</sup> Davis, M. B., 1983, Quaternary history of deciduous forests of the eastern North America, *Ann. Missouri Bot. Gard.* 70: 550-563.
- <sup>15</sup> Dos trabalhos publicados pelo grupo de pesquisa, cito somente o mais recente: Colinvaux, P. A., de Oliveira, P. E., Moreno, J. E., Miller, M. C., e Bush, M. B., 1996, A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in Glacial Times, *Science*, 274: 85-88. Colinvaux fez recentemente uma conferência que resume suas idéias sobre a grande diversidade de espécies na Amazônia e sobre os conceitos de mudança nas comunidades vegetais do LGM ao presente; esta, intitulada "The Ice-Age Amazon and the Problem of Diversity", foi publicada pela NWO/Huygenslezingen, Países Baixos, publicação especial, novembro de 1997.
- <sup>16</sup> Superpáramo é a região mais alta dos Andes Tropicais onde as plantas ainda podem crescer e onde o solo congela todas as noites. Na Venezuela, o superpáramo fica situado entre ca. 4700 m altitude (linha de neve permanente: geleiras) e ca. 3900 m altitude (linha de congelamento de solo: "permafrost").
- <sup>17</sup> Salgado-Labouriau, M. L., 1987-1988, Sequence of colonization by plants in the Venezuelan Andes after the last Pleistocene glaciation, *Journal of Palynology*, 23-24: 189-204.
- <sup>18</sup> Foram organizados vários simpósios sobre os cerrados nos quais esta questão foi amplamente debatida, entre 1960 e 1973, entre eles: "Segundo Simpósio sobre os Cerrados" (coordenador L. G. Labouriau), 1966, *An. Acad. Brasil. Ci.* 38 (suplemento); "III Simpósio sobre o Cerrado" (coordenador M. O. Ferri), 1971, Editora Edgard Blücher/ Editora USP.
- <sup>19</sup> Ferraz-Vicentini, K. R., 1993, "Análise palinológica de uma vereda em Cromínia, GO", dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 136 p. Ferraz-Vicentini, K. R., e Salgado-Labouriau, M. L., 1996, Palynological analysis of a palm swamp in central Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, 9: 207-219. Salgado-Labouriau, M. L., Cassetti, V., Ferraz-Vicentini, K. R., Martín, L., Soubiès, F., Suguio, K., e Turcq, B., 1997, Late Quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil, *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.* 128: 215-226.
- <sup>20</sup> Barberi Ribeiro, M., 1994, "Paleovegetação e paleoclima no Quaternário Tardio da vereda de Águas Emendadas, DF", dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 141 p. Um artigo sobre os resultados das análises palinológica e de argilas está sendo preparado por Barberi, Salgado-Labouriau e Suguio.
- <sup>21</sup> Parizzi, M. G., 1993, "A gênese e a dinâmica da Lagoa Santa com base em estudos palinológicos, geomorfológicos e geológicos de sua bacia", dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 103 p + 2 mapas. Parizzi, M. G., Salgado-Labouriau, M. L., e Kohler, C. H. (no prelo), Genesis and environmental history of Lagoa Santa, SE, Brazil, *The Holocene*. Veja também observação 23.
- <sup>22</sup> "Vereda" é um termo utilizado na região dos cerrados para denominar áreas alagadas com águas limpas, em vales ou nascentes de rios, onde cresce uma vegetação de buritis (*Mauritia sp.*), pindaíbas (*Xilopia muricata*) e plantas herbáceas aquáticas. Em outras regiões, é conhecida como buritizal.
- <sup>23</sup> Entre trabalhos sobre a região de Salitre, citamos dois: Ledru, M. P., 1993, Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil, *Quaternary Research* 39: 90-98. Oliveira, P. E. de, 1992, "A palynological record of Late quaternary vegetational and climatic change in Southeastern Brazil", tese, Ohio State University, 242 p. Esta tese inclui duas análises de sedimentos lacustres, uma em Salitre (Lagoa da Serra Negra) e outra da Lagoa dos Olhos, próxima à Lagoa Santa.
- <sup>24</sup> As duas revisões recentes sobre este assunto são: Salgado-Labouriau, M. L., 1997, Late Quaternary paleoclimate in the savannas of South America, *Journal Quaternary Sciences*, 12 (5): 371-379. Salgado-Labouriau, M. L., Barberi, M., Ferraz-Vicentini, K. R., e Parizzi, M. G., 1998, A dry climatic event during the Late Quaternary of tropical Brazil, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 99: 115-129.
- <sup>25</sup> Absy, M. L., Cleef, A., Fournier, M., Martin, L., Servant, M., Sifeddine, A., Silva, M. F., Soubiès, F., Suguio, K., e Turcq, B., 1991, Mise en évidence de quatre phase d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec d'autre régions tropicales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, série II, p. 673-678. Van der Hammen, T., 1991, Paleoeecology of the neotropics: an overview of the state of affairs, *Boletim IG-USP*, São Paulo, 8: 35-55. Para trabalhos sobre paleoecologia em outras regiões da Amazônia, veja observação 15.
- <sup>26</sup> Estudo de depósitos aluviais no vale do Rio Tamandua, SP, e comparação com outros depósitos: Suguio, K., Absy, M. L., Flexor, J.-M., Martín, L., Sifeddine, A., Soubiès, F., Turcq, B. e Ybert, J.-P., 1993, The evolution of the continental and coastal environments during the last climatic cycle in Brazil (120ky BP to Present), *Bol IG-USP* 24: 27-41.



Marcelo Rubartelly

# taxonomia *e sistemática*

ESTUDANDO A DIVERSIDADE BIOLÓGICA DO PLANETA

**Reginaldo Constantino e Carlos Roberto F. Brandão**

# Homo sapiens – nofce Te ipfum (Conhece-te a ti mesmo)

C. Linnaeus, 1758.

A diferença entre existir cerca de 1 milhão de espécies animais, como diz a maioria dos livros-texto de zoologia, ou cerca de 30 milhões apenas de artrópodos, como indicam as estimativas mais recentes (Erwin, 1982), não é tão trivial quanto parece. Reflete a necessidade de buscarmos parâmetros que nos possam dar uma idéia do número de espécies animais que habita a Terra num determinado instante. Como qualquer ciência, a zoologia precisa ter alguma forma de avaliar o tamanho dos fenômenos sob sua investigação (May, 1990). Como comparar localidades em termos de riqueza e diversidade sem esses critérios?

Apesar de esse número ainda estar longe de ser conhecido ou mesmo estimado com precisão

aceitável, acredita-se que, dentre os animais, os artrópodos compreenderiam mais de 80% de todas as espécies e, dentre eles, os insetos atingiriam 92% (Shorrocks, 1980). Também existe pouca dúvida de que a riqueza dos insetos, como da maioria dos animais, seja maior nos trópicos que nas regiões temperadas e frias, com possível exceção de alguns himenópteros parasitas e certas abelhas (Wolda, 1983).

Compartilhamos a Terra com, seguramente, milhões de outras espécies de animais, vegetais e microorganismos, cuja diversidade de formas e relações complexas foram moldadas durante mais de 3 bilhões de anos de evolução. Esses organismos estão interligados por processos ecológicos que modificaram e modificam a atmosfera, o clima e as características físicas do planeta que formam a base para a

própria vida. As populações humanas dependem de um vasto número de outras espécies para a obtenção de alimento, roupas, medicamentos e outros bens essenciais.

O primeiro passo em direção à sabedoria, diz um ditado chinês, é poder chamar as coisas pelos seus nomes corretos (Wilson, 1998). Dar nomes às coisas é tão fundamental que a taxonomia talvez possa ser chamada de a verdadeira “profissão” mais antiga do mundo. Taxonomia pode ser definida como a ciência da classificação e o termo deriva do grego *taxon* (arranjo) e *nomus* (lei), primeiramente formulado por Candolle (1813) para a classificação das plantas. É a disciplina que estuda e nomeia os organismos, que continua sendo a base de toda a biologia, e adota um sistema de classificação firmemente enraizado no Iluminismo do século XVIII, quando se acreditava ser possível catalogar todas as espécies vivas que existem na Terra.

O sistema de nomenclatura adotado ainda hoje, desenvolvido pelo médico e botânico sueco Carolus Linnaeus (1707-1778), é aparentemente muito simples. É um sistema hierárquico em que grupos menores são agrupados dentro de grupos maiores: espécies em gêneros, gêneros em famílias, famílias em ordens, ordens em classes, classes em filos<sup>1</sup> e filos em reinos. Em 1758, Linnaeus listou 4.236 espécies animais em 312 gêneros, distribuídos em 34 ordens, e estas em seis classes (Mammalia, Aves, Amphibia, Pisces, Insecta e Vermes) (Papavero, 1994). Naquele momento era possível a um zoólogo conhecer o nome de todas as espécies descritas, mas isso durou pouco. O último catálogo mundial das formigas (Bolton, 1995), por exemplo, lista 9.536 espécies

atuais reconhecidas até 31 de dezembro de 1993, reunidas em 296 gêneros e 16 subfamílias que compõem a família Formicidae, enquanto Linnaeus reconhecia apenas o gênero *Formica* com 17 espécies.

Linnaeus não propôs os níveis de família e de reino, apesar de sua publicação ser dividida em dois tomos (*Regnum Animale* e *Plantae*). Entretanto, logo após a formulação do sistema, a descrição de novas espécies, consequência das viagens exploratórias às terras novas, deixou claro que os níveis de generalização originais não seriam suficientes para expressar o crescente conhecimento sobre a diversidade dos seres vivos (um ímpeto que ainda hoje se verifica), tornando necessária a criação de novos níveis entre os originalmente aceitos.

Até o presente, são conhecidas pela ciência cerca de 1,4 milhão

de espécies agrupadas em seis reinos: Animalia (animais multicelulares), Plantae (plantas superiores), Fungi (fungos e leveduras), Protista (protozoários e algas unicelulares), Monera (bactérias e cianofíceas) e Archaea (reino proposto recentemente para um grupo de organismos unicelulares previamente incluídos em Monera). Além disso, estima-se que o número de espécies a serem descobertas e descritas esteja entre 10 e 100 milhões. Esses números impressionantes contrastam com o pequeno número de plantas e animais que conhecemos na nossa vida cotidiana. A maior parte dessa diversidade compreende organismos pequenos a microscópicos, principalmente insetos, que correspondem a dois terços de todas as espécies conhecidas, e também ácaros, nematóides, fungos, bactérias e outros microorganismos.



Marcelo Rubartelly

# sistemática

## Estima-se que o número de espécies a serem descobertas e descritas esteja entre 10 e 100 milhões

Numa única árvore de uma floresta tropical vivem centenas de espécies de insetos, e centenas de espécies de árvores podem ser encontradas numa pequena área de floresta tropical. Num punhado de solo podemos encontrar uma infinidade de pequenos insetos, ácaros, nematóides, fungos, bactérias e outros organismos.

A sistemática é a parte da biologia dedicada ao estudo da diversidade biológica e à compreensão das relações entre as espécies. A palavra taxonomia é muitas vezes usada como sinônimo de sistemática, mas refere-se à teoria e à prática de classificação, não necessariamente envolvendo o estudo das relações entre os organismos. Os sistematistas ou taxonomistas produzem classificações que servem de base para a organização de todo o conhecimento biológico sobre essas

<sup>1</sup> O termo filo é usado apenas para animais. O nível equivalente para plantas é divisão.

espécies. Essa classificação pode também ser usada para prever características das diferentes formas de vida, mesmo as ainda não descobertas. Embora o nosso conhecimento sobre a diversidade biológica esteja incompleto, os métodos de análise disponíveis, em conjunto com as coleções zoológicas, botânicas e de outros organismos, permitem a compreensão da diversidade biológica numa escala global.

### HISTÓRICO

A taxonomia é uma das práticas científicas mais conhecidas. O homem primitivo tinha um envolvimento muito maior com o ambiente natural do que o homem urbano atual, e um conhecimento substancial sobre as plantas e os animais que ocorriam localmente era essencial para sua sobrevivência. Esse fato reflete-se num rico vocabulário sobre os organismos de importância direta, como grandes predadores, fontes de alimento e

de vestimenta e aqueles com propriedades medicinais ou mágicas. Tribos indígenas atuais possuem um conhecimento surpreendente sobre plantas, aves, peixes e outros animais, especialmente sobre aqueles de interesse para sua vida diária. Os índios kayapós, por exemplo, são capazes de reconhecer 54 espécies diferentes de abelhas, várias delas usadas como fonte de mel (Posey, 1983; Camargo e Posey, 1990). Além disso, a classificação das abelhas empregada pelos kayapós apresenta uma concordância de mais de 80% com a reconhecida atualmente pela ciência.

Os primeiros naturalistas conheciam apenas a fauna e a flora da região em que viviam. Aristóteles menciona apenas cerca de 550 tipos diferentes de animais, e os manuais de ervas medicinais da Renascença continham entre 250 e 600 espécies de plantas (Mayr, 1982). Mas mesmo os antigos gregos já sabiam da existência de faunas e floras diferentes em outras regiões

pelo relato de viajantes. A descrição de animais estranhos como elefantes, girafas e tigres excitava a imaginação dos europeus. Descobrir e descrever essas criaturas extraordinárias era a grande paixão de viajantes e escritores, da Grécia antiga à Europa do século XVIII. À medida que os exploradores europeus começaram a descobrir e explorar novos territórios, a perspectiva sobre a riqueza e a localização geográfica de faunas e floras exóticas foi-se ampliando. Com o descobrimento da América, da Austrália e das ilhas do Pacífico abriu-se uma nova dimensão para a apreciação da diversidade biológica.

No século XVIII começaram as grandes expedições, que se aceleraram no século XIX. Elas percorreram todos os cantos do mundo, trazendo amostras de animais e plantas de todo tipo, enchendo museus particulares e induzindo à criação de grandes museus nacionais. O trabalho de Humboldt e Bonpland na América do Sul, de Darwin ao redor do mundo no *Beagle*, de Wallace na América do Sul e nas Índias Orientais e de Bates na Amazônia é bem conhecido, mas milhares de outros investigadores participaram desse esforço global. Entre os exploradores menos conhecidos está Alexandre

## A taxonomia é uma das práticas científicas mais conhecidas

# DIVERSIDADE

Rodrigues Ferreira, brasileiro nascido na Bahia e educado em Portugal, que comandou a partir de 1783 a primeira grande expedição à Amazônia, financiada pelo governo português. O conhecimento sobre a diversidade aquática começou a avançar mais tarde. Expedições oceanográficas começaram a ser organizadas no século XIX e abriram novas fronteiras, revelando a existência de muitos novos grupos de organismos. A invenção do microscópio no século XVII abriu outra fronteira importante: o mundo dos organismos não visíveis a olho nu.

Aristóteles pode ser considerado o pioneiro da classificação biológica. Ele viveu por alguns anos na ilha de Lesbos, onde se dedicou ao estudo da zoologia, particularmente de animais marinhos. Estudou sua morfologia, embriologia, hábitos e ecologia, reconhecendo grupos como aves, peixes, baleias e insetos, e mesmo grupos menores como Coleoptera e Diptera. No entanto, ele não propôs uma classificação ordenada e consistente de todos os animais e empregava algumas divisões consideradas hoje artificiais por não refletirem a história evolutiva, como animais com sangue e animais sem sangue. Aristóteles também

escreveu sobre plantas, mas esses escritos foram perdidos. Dioscorides, um médico grego, viajou muito e adquiriu vasto conhecimento sobre as plantas úteis ao homem, descrevendo cerca de quinhentas plantas de uso medicinal ou que forneciam temperos, óleos, resina ou frutos. O trabalho de Dioscorides foi a principal referência na botânica por cerca de 1.500 anos. Apenas no século XIII começaram a aparecer obras com algum conteúdo original, básica-

mente manuais de plantas úteis e medicinais produzidos por herbaristas (especialistas em ervas medicinais).

A classificação das plantas conheceu grande avanço no período entre os séculos XVI e XVIII, com os trabalhos de Cesalpino, Magnol, Tournefort, Rivinus, Bahuin, John Ray, Linnaeus e outros. O método de classificação que esses botânicos empregavam era o da divisão lógica, em que um grupo grande é dividido em dois menores com base numa característica, por exemplo, plantas com flores e plantas sem flores. Essas classificações funcionavam também como esquemas de identificação, mas são hoje consideradas artificiais. Linnaeus é considerado o Pai da Taxonomia por ter desenvolvido um método prático e eficiente de classificação. Seu sistema binomial de nomenclatura e sua classificação hierárquica são empregados até hoje. Cada espécie recebe um nome composto de duas palavras, sendo que a primeira corresponde ao gênero e a segunda ao nome específico. Linnaeus era adepto do essencialismo de Aristóteles e Platão e acreditava que as espécies biológicas refletiam a existência de tipos eternos e imutáveis, ou essências, e por isso seu conceito de espécie é chamado de tipológico. Como homem religioso, ele também acreditava que um dos objetivos da classificação era o de revelar o plano da criação divina.

O método de classificação por divisão lógica começou a se mostrar ineficiente quando os botânicos e os zoólogos europeus foram surpreendidos por um grande número de novos grupos de organismos encontrados nos trópicos. Ficou então evidente que essas classificações, que eram na verdade

# TAX

esquemas de identificação, funcionam bem apenas quando aplicadas a faunas e floras limitadas. Gradualmente o método de divisão lógica foi substituído por um agrupamento empírico de organismos com características semelhantes. Os grupos assim formados eram considerados mais “naturais”, embora o significado exato do que seria uma classificação natural não fosse bem estabelecido. Essa questão foi respondida em 1859 com a teoria da evolução do inglês Charles Darwin, segundo a qual os grupos naturais são aqueles cujos membros descendem de um ancestral comum. Espécies descendentes de um ancestral comum mais próximo tendem a ser mais semelhantes entre si do que espécies mais distantes. Em sua obra *A origem das espécies*, Darwin também propôs um conjunto de critérios claros para a construção de uma classificação natural.

No entanto, nos quase cem anos após a publicação da obra de Darwin, muito pouco foi feito no sentido de empregar métodos ob-

jetivos para produzir classificações naturais que refletissem a história evolutiva. Por algum tempo os taxonomistas continuaram a tratar espécies dentro do dogma tipológico de Linnaeus. Só no início do século XX o conceito de populações passou a ser incorporado à sistemática, e espécies passaram a ser entendidas como grupos de populações, com distribuição limitada no tempo e no espaço.

Na década de 1950 surgiu uma nova escola na taxonomia, a chamada taxonomia numérica, também chamada de fenética ou fenética numérica. Em razão da insatisfação com os métodos tradicionais empregados pelos taxonomistas, considerados muito subjetivos, foram desenvolvidos métodos quantitativos de classificação, que supostamente produziriam resultados mais objetivos. Isso foi possível, em parte, pela disponibilidade de computadores eletrônicos, uma novidade na época. A taxonomia numérica começou com o trabalho de Robert Sokal na Universidade de Kansas, ganhou muitos adeptos e popularizou-se nas décadas de 1960 e 1970 (Hull, 1988). Esse método é calcado no agrupamento de indivíduos com base numa estimativa numérica da sua similaridade total. Críticas a esse método começaram a surgir quando se concluiu que a similaridade total não é um bom indicador da proximidade evolutiva entre espécies e pode produzir classificações artificiais. Além disso, diversos métodos de análise matemática começaram a produzir resultados diferentes, retornando à questão da subjetividade: diferentes taxonomistas chegariam a resultados distintos dependendo do método utilizado.

Mais ou menos na mesma época, um entomólogo alemão chama-

do Willi Hennig desenvolveu um método objetivo para o estudo das relações evolutivas (filogenéticas) entre os organismos. Seu método baseia-se no conceito de que apenas semelhanças derivadas compartilhadas (apomorfias) fornecem evidência sobre as relações filogenéticas e que outros tipos de semelhanças, originadas em ancestrais mais distantes (plesiomorfias ou caracteres primitivos) e as causadas por evolução independente (convergências), somente

Em *A origem das espécies*, Darwin propôs um conjunto de critérios claros para a construção de uma classificação natural

mascularam essas relações. O método de Hennig foi exposto pela primeira vez num livro publicado em 1950 em alemão e ignorado pela maioria da comunidade científica. Apenas após a publicação de uma segunda edição em inglês em 1966, seu método começou a se tornar mais conhecido e a ganhar adeptos, particularmente na América do Norte. A partir da década de 1970 começaram a ser desenvolvidos programas de computador implementando o método de

Hennig e iniciou-se uma verdadeira guerra entre os adeptos desse novo método, chamado de cladismo, e as duas outras escolas da sistemática, a chamada escola evolutiva e a taxonomia numérica. Atualmente, a escola cladista, também chamada de sistemática filogenética, tende a ser dominante, pelo menos como método de reconstrução filogenética.

Com o desenvolvimento de métodos acessíveis de manipulação e o estudo do material genético, em particular do DNA, foi iniciada uma nova linha, chamada de sistemática molecular, que procura estudar as relações entre os organismos com base em semelhanças encontradas nas moléculas. Para isso foram desenvolvidos novos métodos de análise e programas específicos de computador. Essa área tem crescido rapidamente, principalmente em função da progressiva popularização e redução do custo desses métodos. No entanto, a análise de dados de DNA apresenta problemas novos ainda mal resolvidos, e às vezes produz resultados absurdos ou incompatíveis com outros tipos de evidência, como a morfologia e o comportamento.

#### IMPORTÂNCIA DA SISTEMÁTICA

**Agricultura.** A sistemática é importante na agricultura em dois aspectos: no controle de pragas e doenças e no melhoramento de plantas cultivadas. Muitos dos organismos mais importantes na agricultura são ainda pouco conhecidos no contexto da sistemática. Um exemplo recente foi a descoberta que o importante complexo<sup>2</sup> de mariposas *Heliothis virescens*, que atacam o fumo e o algodão, é composto de 13 espécies, e não de cinco como se imaginava (Miller e

Rossman, 1995). Com o crescimento do interesse por métodos de controle de pragas não baseados em pesticidas, a necessidade de compreender a grande variedade de organismos que ocorrem em nossos agroecossistemas é cada vez mais crítica. Provavelmente milhares de organismos potencialmente úteis no controle biológico de pragas são desconhecidos da ciência. Antes de se tornarem economicamente úteis, esses organismos precisam ser descritos e integrados em sistemas de classificação e informação. Em muitos casos existe uma relação muito específica entre o organismo controlador e a praga, e a identificação precisa de ambos é essencial para o sucesso dos programas de controle. Por exemplo, uma cochonilha que atacava as plantações de café no Quênia foi erroneamente identificada como *Planococcus citri* e mais tarde como *Planococcus lilacinus*. A introdução de inimigos naturais dessas duas espécies não surtiu nenhum efeito e só depois que um sistemata estudou essa cochonilha e identificou-a corretamente como uma espécie nova nativa da Uganda, os verdadeiros inimigos naturais foram descobertos e introduzidos no Quênia, controlando a praga.

Existem cerca de 250 mil espécies conhecidas de plantas, das quais mais de 7 mil foram em algum tempo usadas como alimento pelo homem. A compreensão da sistemática dessas plantas certamente aumentará a variedade de produtos agrícolas e pode também resultar na descoberta de plantas mais resistentes a doenças e pragas. Em 1977, um botânico mexicano descobriu uma população de uma espécie de milho silvestre numa floresta nas montanhas do México. Enviada a especialistas,

<sup>2</sup> Um complexo é um conjunto de espécies muito semelhantes e de difícil identificação, geralmente referido pelo nome de uma delas.

determinou-se que era uma espécie nova, batizada de *Zea diploperennis*. Essa espécie provou-se resistente a sete doenças virais que afetam o milho doméstico, *Zea mays* (*Systematics Agenda 2000*, 1994). Por meio de cruzamentos controlados, foi possível transferir essa resistência ao milho cultivado, resultando em novas variedades resistentes, algumas delas já disponíveis comercialmente. Estudos detalhados de sistemática são também muito importantes para o uso medicinal de plantas. Uma substância anticâncer foi isolada de *Maytenus buehnanii*, uma planta encontrada numa única localidade no Quênia, mas a população conhecida dessa planta era muito pequena e novas coletas poderiam resultar na sua extinção. Um botânico foi consultado e indicou uma espécie da Índia, *Maytenus rothiana*, como a espécie mais próxima e que possivelmente teria

TABELA 1  
NÚMERO APROXIMADO (EM MILHARES) DE ESPÉCIES CONHECIDAS  
DE ALGUNS GRUPOS DE ORGANISMOS E O RESPECTIVO NÚMERO  
ESTIMADO DE ESPÉCIES A SEREM DESCOBERTAS  
(*SYSTEMATICS AGENDA 2000*, 1994)

ESPÉCIE	CONHECIDO	ESTIMADO
algas	40	200 - 10.000
aracnídeos	75	750 - 1.000
bactérias	4	400 - 3.000
crustáceos	40	150
fungos	70	1.000 - 1.500
insetos	950	8.000 - 100.000
moluscos	70	200
nematelmintos	15	500 - 1.000
plantas	250	300 - 500
protozoários	40	100 - 200
vertebrados	45	50
vírus	5	500

também essa mesma substância. Essa predição mostrou-se correta e só foi possível porque alguém já havia estudado esse grupo de plantas. Esse fato ilustra bem o poder preditivo de uma classificação biológica baseada em grupos naturais.

*Medicina e saúde pública.* Atualmente milhões de pessoas no mundo sofrem de doenças causadas por organismos: vírus, bactérias, protozoários, vermes e fungos, entre outros. Pouco progresso poderia ser feito no controle dessas doenças sem o auxílio da sistemática, que reconhece, diferencia e caracteriza tanto os organismos patogênicos como os não-patogênicos que afetam a saúde humana. Isso

inclui centenas de milhares de espécies e milhões de variedades de organismos patogênicos, seus vetores e hospedeiros intermediários. É necessário diferenciar todos os organismos conhecidos de um grupo para saber quando uma nova espécie foi encontrada e quando uma variedade conhecida passou a ser patogênica. A identificação incorreta de patógenos ou vetores pode ser desastrosa e resultar em grande desperdício de tempo e dinheiro em medidas de controle. Um bom exemplo é o dos mosquitos transmissores da malária. Existem cerca de 3 mil espécies conhecidas de mosquitos da família Culicidae, variando muito em sua biologia, comportamento e capacidade de transmitir malária (Davis,

1995). Na década de 1930 descobriu-se que os mosquitos identificados como *Anopheles maculipennis* na Europa eram na verdade um complexo de espécies muito semelhantes, mas com biologia e capacidade de transmitir malária diferentes. Hoje o número de espécies reconhecidas nesse complexo chega a 18. As medidas de controle adotadas contra as espécies não-vetoras, em razão da identificação incorreta, foram totalmente ineficientes. Além da identificação, o conhecimento da história evolutiva (filogenia) de patógenos e vetores é essencial para compreender a evolução e a epidemiologia das doenças, contribuindo para a descoberta de novos patógenos e a compreensão de novas doenças.

**Crise da biodiversidade.** O crescimento da consciência sobre a importância da biodiversidade para o bem-estar humano ocorre, paradoxalmente, na mesma época em que a atividade

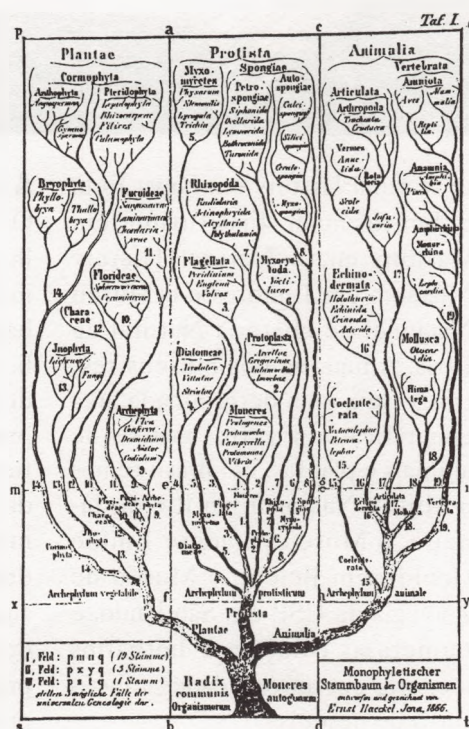
de humana está acelerando a redução dessa mesma diversidade. As populações humanas crescem rapidamente, especialmente em países tropicais onde a biodiversidade é maior, convertendo *habitats* naturais para outros usos a velocidades cada vez maiores. Estudos recentes (*Systematics Agenda 2000*, 1994) revelaram uma alarmante redução da biodiversidade e aceleração do processo de extinção, principalmente em virtude da destruição de ecossistemas naturais pela ação humana. A preservação da biodiversidade exige um grande esforço na identificação e na proteção de áreas críticas para conservação. A sistemática desempenha um papel central no desenvolvimento de planos de longo prazo para a criação de políticas públicas para o uso sustentável da biodiversidade. É necessário conhecer os organismos envolvidos, onde ocorrem e como estão relacionados entre si. Estudos recentes na sistemática baseados em análises

filogenéticas e biogeografia histórica oferecem novas abordagens na definição de políticas de conservação. Uma estratégia baseada em considerações filogenéticas envolveria a preservação do maior número possível de linhagens de organismos, considerando seu potencial científico, econômico e ambiental. O número total de espécies seria menos importante que o número de linhagens evolutivas mais antigas e singulares, muitas vezes representadas por uma única espécie, de distribuição geográfica limitada. Isso contrasta com estratégias empregadas até recentemente, baseadas apenas em algumas poucas espécies de maior apelo popular, como o mico-leão-dourado ou o panda. Atualmente os sistematas tendem a ocupar um espaço cada vez mais importante na definição de políticas e prioridades para a conservação da biodiversidade do planeta.

## IMPORTÂNCIA DE MUSEUS E COLEÇÕES

Além das exposições, com sua importante função educativa, os museus de história natural também mantêm coleções científicas não acessíveis ao público. Essas coleções desempenham um papel muito relevante como centros de documentação, oferecendo um registro permanente e ordenado de floras e faunas, incluindo a biota de localidades de difícil acesso ou onde os ecossistemas naturais já foram destruídos. Grande parte do material preservado em museus poderia ser repostado apenas a um custo muito elevado, ou jamais poderia ser repostado por representar espécies ou *habitats* já desaparecidos. Para cada espécie descrita é necessário depositar espécimes de referência em museus e coleções, os chamados tipos, de acordo com

**Figura 1.** Filogenia e classificação da vida proposta pelo biólogo alemão Ernst Haeckel em 1866.





os códigos internacionais de nomenclatura, que serão discutidos a seguir. Os tipos devem ser preservados com cuidado e permanecer disponíveis para reexame por especialistas. Do ponto de vista moderno, a coleção biológica é uma amostra de populações naturais, devendo ter abrangência geográfica e um número de espécimes que permitam o estudo da variação dessas populações.

Apenas alguns poucos grandes museus tentam cobrir toda a fauna e a flora do mundo. Isso inclui instituições como o American Museum

of Natural History em Nova York, o Smithsonian Institution em Washington, o Natural History Museum em Londres e o Museu Nacional de História Natural de Paris. A maioria dos museus restringe-se a uma determinada área geográfica ou a certos grupos de animais e plantas. No Brasil temos o Museu Nacional, no Rio de Janeiro, o Museu paraense Emílio Goeldi, em Belém, o Museu de Zoologia da USP, em São Paulo, e numerosas coleções e herbários menores em universidades e institutos de pesquisa.

## A PROFISSÃO DE SISTEMATA

Os sistematas profissionais trabalham em museus, universidades e institutos de pesquisa. Alguns trabalham com taxonomia aplicada, lidando com grupos de organismos de importância econômica, como pragas agrícolas e causadores ou transmissores de doenças. A demanda por especialistas numa determinada área pode mudar rapidamente. Por exemplo, durante algum tempo o domínio do uso de defensivos químicos no controle de pragas agrícolas reduziu a demanda por taxonomistas de insetos, mas

agora, com a tendência crescente de utilização de controle biológico, a necessidade de taxonomistas aumentou consideravelmente. No entanto, o número de empregos para pesquisa pura em sistemática é muito limitado. A maioria dos sistematas são professores ou trabalham com biologia aplicada. Mesmo nas universidades, o número de oportunidades para sistematas é muito pequeno, já que a maioria delas não mantém vagas específicas para essa área. Isso ocorre porque não existe tradição em oferecer sistemática como uma disciplina obrigatória nos cursos de graduação em biologia, apesar de ser uma das disciplinas mais básicas. Por essa mesma razão, a maioria dos biólogos tem apenas um conhecimento muito superficial sobre sistemática.

A formação de novos sistematas é um processo demorado, pois inclui o aprendizado de aspectos teóricos gerais e também de especialização num determinado grupo de organismos, com características próprias de classificação, terminologia, métodos de coleta, preparação e estudo. Cursos regulares de

pós-graduação em sistemática são um fenômeno recente, e tradicionalmente o treinamento era feito de maneira artesanal, com o aluno trabalhando como aprendiz de um sistemata mais experiente. Um sistemata moderno deve ter um conhecimento amplo de biologia, uma formação sólida em sistemática teórica, métodos de reconstrução filogenética, biologia evolutiva, biogeografia e de morfologia comparada do grupo em que se especializa. É necessário também ter bons conhecimentos de estatística e de uso de computadores. Atualmente existe a tendência de empregar métodos moleculares em sistemática, que passam a fazer parte do treinamento desses profissionais.

#### **OS CÓDIGOS DE NOMENCLATURA BIOLÓGICA**

As regras para atribuição de nomes às espécies, gêneros e grupos superiores estão contidas em cinco códigos independentes de nomenclatura para plantas, animais, bactérias, vírus e plantas cultivadas. O *Código Internacional de Nomenclatura Zoológica* (Ride *et al.*, 1985) e o

*Código Internacional de Nomenclatura Botânica* (Greuter *et al.*, 1994) originaram-se a partir da metade do século XIX e sofreram muitas modificações até as versões atuais. Embora baseados nos mesmos princípios gerais, eles diferem bastante em detalhes. Os três princípios mais importantes desses dois códigos são (Mayr e Ashlock, 1991): 1) exclusividade: cada organismo deve ter apenas um nome; 2) universalidade: as mesmas regras e nomes devem ser usados em todo o mundo; e 3) estabilidade: os nomes dos organismos devem permanecer constantes ao longo do tempo. Uma regra importante é a da prioridade de publicação, segundo a qual os nomes publicados primeiro têm precedência sobre os posteriores. Ou seja, o nome de um novo organismo precisa ser publicado para ser reconhecido e colocado em uso, e outros nomes atribuídos ao mesmo organismo publicados posteriormente devem ser rejeitados. Um terceiro conjunto de regras, o *Código Internacional de Nomenclatura de Bactérias* (Sneath, 1993), foi proposto na metade do século XX e publicado pela primeira vez em 1958. Aproximadamente na mesma época surgiu o *Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas* (Treharne *et al.*, 1995), como um conjunto de regras subordinado ao *Código de Nomenclatura de Plantas*. A nomenclatura dos vírus e dos agentes subvirais (príons, etc.) é regulada por um conjunto de regras e recomendações publicadas pela Comissão Internacional de Taxonomia de Vírus (Francki *et al.*, 1990).

A existência de vários códigos independentes é uma fonte de confusão porque eles contêm convenções diferentes para citar nomes,

**Mesmo nas universidades, o número de oportunidades para sistematas é muito pequeno, já que a maioria delas não mantém vagas específicas para essa área**

diferentes formas de nomes no mesmo nível hierárquico e diferentes maneiras de determinar qual o nome correto para um determinado organismo. Isso é ainda mais sério no caso dos organismos que não são claramente plantas, animais ou bactérias e que tendem a ser tratados por mais de um código ao mesmo tempo. Outro problema é o fato de que pode haver plantas e animais com o mesmo nome, ou seja, os códigos não impedem a homonímia entre os diferentes grupos. Em razão de todos esses problemas, a International Union of Biological Sciences (IUBS) iniciou um trabalho, ainda em andamento, no sentido de preparar um código unificado, que seria chamado de *Código Internacional de Nomenclatura Biológica* (Greuter *et al.*, 1996). Se tudo correr bem, o

novo código deve entrar em vigor dentro de alguns anos.

#### TENDÊNCIAS ATUAIS E PERSPECTIVAS NA SISTEMÁTICA

O estudo da diversidade biológica será sempre uma parte importante e ativa da biologia, independentemente da evolução de outras disciplinas. A sistemática é ao mesmo tempo a parte mais elementar e mais integradora da biologia. Mais elementar porque nada pode ser discutido sobre um organismo sem que algum trabalho taxonômico seja feito, isto é, ele precisa ser enquadrado dentro da classificação formal, com alguma idéia de suas relações filogenéticas. A sistemática também integra tudo o que é conhecido sobre os organismos, seja morfologia, ecologia, biogeografia, fisiologia, comportamento ou pro-

priedades úteis, permitindo que essas informações sejam armazenadas e recuperadas de forma ordenada e que possam ser interpretadas no contexto da sua história evolutiva.

A missão da sistemática é gigantesca e ainda resta muito a ser feito. No período de 240 anos desde a publicação do trabalho de Linnaeus (1758) foram descritas cerca de 1,4 milhão de espécies, mas mesmo as estimativas mais conservadoras indicam pelos menos outros 10 milhões de espécies desconhecidas. O estudo das relações evolutivas entre os organismos começou bem mais recentemente, e boa parte das classificações em uso necessita de revisão. O estudo da diversidade biológica do planeta torna-se cada vez mais urgente com o avanço das populações humanas, que destroem os *habitats* naturais, causando

## referências bibliográficas

- BOLTON, B. 1985. A new general catalogue of the ants of the world. Cambridge: Harvard Univ. Press. 504 p.
- CAMARGO, J. M. F., POSEY, D. A. 1990. "O conhecimento dos Kayapó sobre as abelhas sociais sem ferrão (Meliponinae, Apidae, Hymenoptera): notas adicionais." *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Zoologia*, 6 (1): 17-42.
- CANDOLLE, A. P. 1813. *Théorie élémentaire de la Botanique*. Paris, viii + 500 + 27 p.
- DAVIS, G. M. 1995. Systematics and public health. *Bioscience*, 45 (10): 680-686.
- ERWIN, T. L. 1982. Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *Coleoptera Bulletin*, 36 (1): 74-75.
- FRANCKI, R. I. B., FAUQUET, C. M., KNUDSON, D. L., BROWN, F. (1990). Classification and nomenclature of viruses. *Archives of Virology Supplement*, 2: 1-445.
- GREUTER, W., BARRIE, F. R., BURDET, H. M., CHALONER, W. G., DEMOULIN, V., HAWKSWORTH, D. L., JORGENSEN, P. M., NICOLSON, D. H., SILVA, P. C., TREHANE, P., MCNEILL, J. (eds.). 1994. *International Code of Botanical Nomenclature* (Tokyo Code). Adopted by the Fifteenth International Botanical Congress, Yokohama, August-September 1993. (Regnum veg. 131). Koenigstein, Germany: Koeltz Scientific Books, xviii + 389 p.
- GREUTER, W., HAWKSWORTH, D. L., MCNEILL, J., MAYO, M. A., MINELLI, A., SNEATH, P. H. A., TINDALL, B. J., TREHANE, P., TUBBS, P. (the IUBS/IUIMS International Committee for Bionomenclature). 1996. Draft BioCode: the prospective international rules for the scientific names of organisms. *Taxon*, 45: 349-372.
- HULL, D. L. 1998. *Science as a process*. Chicago: The University of Chicago Press.
- LINNAEUS, C. 1956. *Systema naturae. Regnum Animale*. Fac-símile 10ª ed. Londres: British Museum (Natural History), 1956, v + 823 p. (1ª ed. 1758).
- MAY, R. M. 1990. How many species? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B, Biological Sciences*, 330 (1257): 293-304.
- MAYR, E. 1982. The growth of biological

sua fragmentação e conseqüente extinção de espécies, a maioria delas ainda desconhecida da ciência. Muitas inovações têm surgido na sistemática nos últimos anos, com avanços teóricos no estudo das relações entre os organismos e com o emprego cada vez maior de métodos moleculares. Os museus de história natural tendem a se informatizar, disponibilizando ao público bases de dados sobre suas coleções via Internet. No entanto, ainda não existe substituto para o trabalho do especialista e de métodos tradicionais de coleta, preservação e estudo de animais, plantas e outros organismos. Na sistemática, o moderno tem de conviver com o antigo, e bibliografia e coleções antigas são ainda indispensáveis. \*

## AGRADECIMENTOS

Ao prof. Sérgio Vanin, Departamento de Zoologia da USP, e ao prof. Carlos Eduardo G. Pinheiro, do Departamento de Zoologia da UnB, pela revisão e sugestões a esse artigo.

## Reginaldo Constantino

Doutor em Entomologia pela Universidade de Kansas, especialista em térmitas; professor do Departamento de Zoologia da UnB.

## Carlos Roberto F. Brandão

Doutor em Zoologia pela Universidade de São Paulo, especialista em formigas; chefe da Divisão Científica do Museu de Zoologia da USP e professor de pós-graduação do Departamento de Zoologia da USP.

- thought. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- MAYR, E., ASHLOCK, P. D. 1991. *Principles of systematic zoology*. 2ª ed. Nova York: McGraw-Hill.
- MILLER, D. R., ROSSMAN A. Y. 1995. Systematics, biodiversity and agriculture. *Bioscience*, 45 (10): 680-686.
- PAPAVERO, N. (org.). 1994. *Fundamentos práticos de taxonomia zoológica: coleções, bibliografia, nomenclatura*. 2ª ed. São Paulo: Unesp.
- POSEY, D. A. 1983. O conhecimento entomológico Kayapó. *Anuário Antropológico*, 81: 109-124.
- RIDE, W. D. L., SABROSKY, C. W., BERNARDI, G., MELVILLE, R. V. (eds.). 1985. *International Code of Zoological Nomenclature*. 3ª ed. International Trust for Zoological Nomenclature. Londres: British Museum (Natural History), Berkeley: University of California Press, xx + 338 p.
- SAVAGE, J. M. 1995. Systematics and the biodiversity crisis. *Bioscience*, 45 (10): 673-679.
- SHORROCKS, M. 1980. *A origem da diversidade: as bases genéticas da evolução*. São Paulo: Edusp. 181 p.
- SNEATH, P. H. A. (ed.). 1992. *International Code of Nomenclature of Bacteria*. 1980 Revision. Washington.
- SYSTEMATICS AGENDA 2000. 1994. *Systematics Agenda 2000: charting the biosphere*. Technical Report. Nova York: American Society of Plant Taxonomists, Society of Systematics Biologists, Willi Hennig Society, Association of Systematics Collections. 34 p.
- TREHANE, P., BRICKELL, C. D., BAUM, B. R., HETTERSCHIED, W. L. A., LESLIE, A. C., MCNEILL, J., SPONGBERG, S. A., VRUGTMAN, F. (eds.). 1995. *The International Code of Nomenclature for Cultivated Plants – 1995*. (ICNCP or Cultivated Plant Code), adopted by the International Commission for the Nomenclature of Cultivated Plants. Wimborne, U. K.: Quarterjack Publishing (Regnum veg. 133), xvi + 175 p.
- WILSON, E. O. 1998. *Consilience. The unity of knowledge*. Nova York: A. Knopf. 332 p.
- WOLDA, H. 1983. Diversity, diversity indices and tropical cockroaches. *Oecologia*. Heidelberg, 58: 290-298.



## O QUE É ECOLOGIA?

Dois grupos de pessoas usam a palavra *ecologia*; são ecólogos e ecologistas. Os ecologistas (ou conservacionistas) são cidadãos preocupados com o meio ambiente e querem proteger o planeta dos abusos antrópicos que este continua sofrendo. Ecólogos são cientistas que estudam a ciência da ecologia. Todos os ecólogos que conheço são também ecologistas, porque achamos impossível estudar seres vivos cientificamente sem o envolvimento com problemas de sua sobrevivência.

Para muitas pessoas, existe uma confusão sobre o que é ecologia. Todo mundo acha que sabe o que é, mas pouquíssimos poderiam defini-la exatamente. Na realidade, é uma daquelas ciências sobre a qual existem dúvidas por parte de muitas pessoas. Para o leigo, vale a pena folhear o livro de Begon *et al.* (1996) que, hoje, é o mais popular dos textos gerais entre os professores universitários de ecologia. Nas próximas páginas, tento dizer para o leigo o que é a ciência da ecologia e por que esta se tornou tão importante nos últimos anos.

A palavra *ecologia* é muito mais antiga do que as pessoas imaginam. Foi criada pelo americano Henry Thoreau, em 1858, e definida pelo alemão Ernst Haeckel, em 1869. É derivada de duas palavras gregas: *oikos*, que significa

casa, e *logos*, que significa fala, discurso ou razão. O inglês Charles Elton considerou ecologia como “história natural científica” e, como ele comentou, “ecologia é um novo nome para um assunto muito antigo”. Certos ecólogos, como o americano Eugene Odum (1953), enfatizaram os processos ambientais e consideraram os organismos mais como veículos para o transporte de compostos e de energia e fazendo parte do fluxo de energia e dos ciclos biogeoquímicos. No entanto, Begon *et al.* (1996) voltaram à definição de Haeckel que, talvez, seja a melhor de todas. Para Haeckel, ecologia é “o estudo científico das interações entre organismos e seu ambiente”. Para o leigo, talvez, uma das descrições de ecologia mais úteis seja “história natural quantitativa”.

Entretanto, ecologia não é uma ciência fácil de entender. Diferentemente das ciências exatas como a matemática e a física, a ecologia depende de interpretações profundas baseadas em grandes quantidades de dados e, neste aspecto, é parecida com a geografia e a economia. Em qualquer parte do mundo é necessária quase uma vida inteira com o acúmulo de muitas informações para se tornar um bom ecólogo e, em termos gerais, os melhores ecólogos são os mais velhos. Mostrando esse ponto, anos atrás, a revista inglesa *New*

---

**Anthony Raw**

---

*Scientist* publicou uma análise sobre a idade de cientistas quando convidados para entrar na Sociedade Real de Londres (não se pode simplesmente pedir para se tornar sócio dessa sociedade). Os mais jovens eram os de matemática pura, com idade média de 32 anos, e os mais velhos eram os ecólogos, com 64 anos.

#### AS RAÍZES DA ECOLOGIA

As raízes da ecologia estão nas atividades de caça, pesca, coleta de frutos e de madeira para fogueira, seleção de plantas medicinais e construção de abrigo. O caçador tem de conhecer muito bem sua presa – onde e quando a encontra facilmente, o que ela come, a época de reprodução. Talvez quase todo mundo seja, em parte, ecólogo, no sentido de que se sabe que certas plantas não podem ser comidas, ao olhar para o céu se sabe fazer uma previsão do tempo, etc. De várias

formas, os rudimentos da ecologia são praticados por várias espécies de animais, na busca de certas espécies de plantas medicinais quando doentes, como ursos, gorilas e chimpanzés e, provavelmente, muitas outras espécies.

Quando a agricultura começou a desenvolver-se, há cerca de 12 mil anos, outra forma de ecologia aplicada desenvolveu-se. Desde os tempos antigos, o bom agricultor conhecia, de forma quantitativa, seus cultivos, os solos, as pragas e as dicas de tempo para preparar o chão, semear e colher. As primeiras histórias da ecologia aplicada são da China, do Levante e da Grécia sobre populações que eram pragas agrícolas. Na Bíblia (Joel, capítulo 1, versículo 4) está escrito: “O que deixou o gafanhoto cortador, comeu-o o gafanhoto migrador; o que deixou o migrador, comeu-o o gafanhoto devorador; o que deixou o devorador, comeu-o

o gafanhoto destruidor”. Geralmente, a explicação dada para esse tipo de acontecimento, como a praga, era manifestação da ira de Deus. Portanto, Aristóteles, no quarto século antes de Cristo, atribuiu pragas de camundongos e de gafanhotos à falta de chuva.

Na Europa, a partir do século XVII, naturalistas começaram a juntar dados mais detalhados. Por exemplo, o holandês Leewenhoeck (que inventou o microscópio, em 1687) calculou que um casal de moscas podia produzir 746.496 larvas em três meses. Naturalistas também pensaram sobre aspectos ecológicos de populações humanas. Em 1662, Graunt estimou que a população de Londres podia dobrar em 64 anos, e Malthus chamou atenção à situação humana e enfatizou os problemas em aumentar os tamanhos de suas populações sem instrumento de controle ou de regulamento. Esse aspecto de seu livro (1798) influenciou muito o pensamento de Charles Darwin sobre a evolução e a seleção natural. Certos naturalistas discutiram muitos problemas, e o francês Buffon (1756) não concordou com Aristóteles e mostrou a importância da presença dos predadores e da falta de alimento para reduzir populações de pragas.

## RUDIMENTOS

As raízes da ecologia estão nas atividades de caça, pesca, coleta de frutos e de madeira para fogueira, seleção de plantas medicinais e construção de abrigo

# ralistas

Outro lado da biologia que influenciou muito o crescimento da ecologia foi o desenvolvimento da taxonomia biológica. Os aspectos mais importantes nesta área foram o reconhecimento da estabilidade das espécies e a criação dos nomes científicos e padronizados para os organismos. O primeiro aspecto determina que nenhuma espécie é capaz de se transformar em outra espécie, seja lobisomem, Drácula, etc. Com relação ao segundo aspecto, a cada espécie conhecida foi dado um nome em latim. Nesse sentido, o trabalho do grupo na Suécia, sob a liderança de Carl von Linné, tinha a maior influência. O livro *Systema Naturae*, publicado em 1758, incluiu descrições de todas as espécies de organismos conhecidas até aquela data pela ciência e ainda é usado pelos zoólogos como a data-base na taxonomia zoológica. Essa obra foi publicada sob a autoria de Carolus Linnaeus (Carl von Linné) como uma extensão da regra que latiniza nomes científicos.

## A HISTÓRIA NATURAL NO BRASIL

No século XV, começou a descoberta do globo com as primeiras grandes viagens empreendidas pelos aventureiros portugueses, ingleses, holandeses e outros. Vários

desses viajantes estavam interessados na história natural. A fase de descoberta científica do Brasil começou logo após 1500, quando Pero Vaz de Caminha juntou informações sobre sua flora e fauna e os jesuítas Manoel da Nóbrega (1549) e José de Anchieta (1553) escreveram sobre o uso da flora pelos índios. Hans Staden viveu alguns anos no Brasil e em seu livro (1556) conta sobre a exportação do pau-brasil e as culturas de milho, mandioca e algodão e dá outras informações sobre plantas brasileiras.

A partir de 1600, coletas de material biológico mais intensas foram feitas por exploradores estrangeiros. Dois desses, o holandês George Marcgraf e o alemão Willem Pies, visitaram o Norte do Brasil em 1637. O botânico Carl Friedrich Phillip von Martius considerou Marcgraf o pai da história natural brasileira por causa de seu livro *Historia naturalis brasiliae*, publicado em 1648. Pies escreveu sobre espécies de plantas medicinais do Nordeste. Os livros dos dois foram traduzidos para o português e publicados pelo Museu Paulista (em 1942 e 1948). Entretanto, naquela época, as atividades científicas não tiveram influência nenhuma sobre o resto do país.

Após essa fase de entrada das expedições científicas no território brasileiro, estas foram proibidas por Portugal, e, por isso, vários exploradores não visitaram o Brasil. A proibição incluiu o capitão James Cook, que viajou de 1768 a 1771 pelo oceano Pacífico. Parece que Alexander von Humboldt e Aimé Bonpland conseguiram entrar no país durante sua grande viagem de 1799 a 1804. Entretanto, eles simplesmente atravessaram a fronteira da Venezuela com o Brasil, quando foram presos.

No final do século XVIII, os primeiros naturalistas brasileiros, frei José Maria da Conceição Velloso (reconhecido como o Pai da Botânica Brasileira) e Alexandre Rodrigues Ferreira, conduziram um extenso levantamento das riquezas naturais da região amazônica a pedido da rainha de Portugal.

Em 1817, Martius e o zoólogo Johan Baptiste Spix visitaram o

# INTERCÂMBIO

Brasil convidados pela então futura imperatriz dona Leopoldina. Os dois biólogos viajaram por grande parte do país e fizeram uma enorme coleção de plantas. O resultado dessa viagem foi a publicação, entre 1840 e 1908, da grande obra *Flora brasiliensis*, de quarenta volumes, que catalogou mais de 20 mil espécies de plantas brasileiras. Entre alemães, austríacos, ingleses, suíços, franceses, belgas, dinamarqueses, holandeses e um húngaro, 38 botânicos colaboraram nessa publicação, entretanto, típico da época, nenhum brasileiro foi envolvido.

Com a abertura dos portos brasileiros a partir de 1820, foram facilitados o intercâmbio intelectual com outros países e a vinda de vários naturalistas estrangeiros ao país, mas apenas uma excursão liderada por brasileiros, destinada a estudar as províncias do Norte, foi realizada nesse período (em 1857). Portanto, a maioria desses naturalistas ficou perto do litoral e dos maiores rios amazônicos, e poucos penetraram na região do Brasil Central, porque os maiores rios que deságuam nessa região não são navegáveis nos seus trechos inferiores, então, o acesso só ocorria por longas viagens terrestres. Por isso, poucos dos primeiros exploradores

chegaram aos cerrados. No entanto, há algumas exceções, como von Spitz e von Martius, que visitaram o Brasil Central na sua grande viagem brasileira. Também o francês Auguste de Saint-Hilaire visitou o interior dos estados de Minas Gerais e Goiás na sua busca das nascentes do Rio São Francisco, de 1816 a 1822. Durante a viagem do navio *Beagle* (de 1831 a 1836), Darwin visitou Salvador e o Rio de Janeiro, e, como naturalista que não conhecia os trópicos pessoalmente, seu mais famoso comentário da visita era sobre a exuberância da Mata Atlântica. Contudo, também escreveu que jamais poderia viver em um país que praticava a escravidão.

Vários naturalistas estrangeiros viveram períodos mais longos no Brasil. O que atraiu esses naturalistas ao continente da América do Sul foram, de um lado, as oportunidades que surgiram de viajar durante o século passado e, de outro, o entusiasmo de certos ricos na Europa de comprar coleções de animais desconhecidos. Entre os mais famosos visitantes estão dois ingleses: Henry Walter Bates e Alfred Russell Wallace. Wallace ficou poucos anos no Brasil, esteve principalmente no Rio Negro, onde se interessou pela riqueza de

peixes. Como era impossível preservar os espécimes, ele fez uma grande coleção de desenhos da ictiofauna da região. Infelizmente, na volta para a Inglaterra, o navio afundou, e ele conta que, sentado num barco pequeno no meio do oceano após o naufrágio, a perda foi tão grande que ele não conseguiu sentir nada sobre o prejuízo que tinha sofrido. Wallace ficou famoso como co-autor com Darwin da hipótese sobre a seleção natural. Bates passou 11 anos no Brasil, principalmente no Rio Solimões, onde juntou dados para sua hipótese do mimetismo batesiano, centrada nas borboletas da Amazônia. A outra forma de mimetismo é o muelleriano, também descoberta no Brasil no século passado pelo alemão Fritz Müller, que vivia em Santa Catarina.

Dois naturalistas importantes que trabalharam no Brasil Central foram os dinamarqueses Peter Wilhem Lund e Eugen Warming. Desde 1835 até sua morte (em 1880), Lund estudou os fósseis das cavernas em volta de Lagoa Santa, distante uns vinte quilômetros da cidade de Belo Horizonte. Warming foi convidado a ajudar Lund e permaneceu na pequena cidade de 1862 a 1866. Warming, cujo maior interesse era a botânica, estudou a vegetação de Lagoa Santa. Graças a sua obra clássica (1892), a vegetação do cerrado tornou-se uma das mais bem estudadas no mundo. O trabalho de Warming constitui uma grande contribuição ao nosso conhecimento da ecologia deste continente, e, até hoje, sua publicação é obra de importante referência. Po-

rém, outros ecólogos dariam continuidade ao seu trabalho somente a partir dos anos 1940.

As primeiras instituições científicas brasileiras foram criadas no século XIX e no início do século XX. Estas foram o Museu Imperial (o atual Museu Nacional) e a biblioteca do Museu Nacional, fundadas em 1818 e 1863, no Rio de Janeiro. A primeira revista científica brasileira foi *Arquivos do Museu Imperial*, que começou em 1876. Os primeiros institutos de pesquisa orientada foram criados para investigar problemas na agricultura e na saúde. Eram a Imperial Estação Agrícola, em 1887 (hoje Instituto Agrônomo de Campinas), o Instituto de Manguinhos, em 1899 (Instituto Oswaldo Cruz), o Instituto Butantã e o Real Horto Botânico (o Jardim Botânico do Rio de Janeiro). Essas instituições eram núcleos de pesquisa científica no início do período experimentalista da biologia.

Em 1935, foi fundada a Universidade de São Paulo, e estudos sobre ciências biológicas começaram na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Alguns europeus foram convidados para ajudar no desenvolvimento dessa área. Na esfera da ecologia, eram o botânico Félix Rawitscher e o zoólogo Ernst Marcus. Dessa forma, a ecologia

começou no Brasil nos anos 1940, no Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo, onde Rawitscher deu as primeiras aulas de ecologia e elaborou pesquisas sobre a vegetação do cerrado.

Durante as décadas seguintes, brasileiros estudaram em cursos de pós-graduação em ecologia no exterior. Portanto, uma novidade importante era a criação dos quatro primeiros cursos de pós-graduação em ecologia no país, em 1976, na Universidade de Brasília, na Universidade de São Paulo em Campinas, na Universidade Federal de São Carlos e no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia junto com a Universidade da Amazônia, em Manaus. Esses cursos já formaram muitos ecólogos que hoje ocupam posições importantes nos governos federal e estaduais, no setor privado e em organizações internacionais, bem como professores universitários. Somente na Universidade de Brasília são formados entre 15 e 20 ecólogos em nível de mestrado e doutorado por ano.

## O DESENVOLVIMENTO DA ECOLOGIA

### *A ecologia de ontem*

Baseada nas coletas e nas observações dos naturalistas em várias partes do mundo, a história natural estava se transformando, durante o século XIX, na ciência *ecologia*. Entretanto, em 1859, sofreu uma derrota inesperada com o lançamento do livro *A origem das espécies*, de Charles Darwin. Como Charles Elton comentou, quando o livro de Darwin apareceu, os biólogos de campo correram para dentro dos museus, onde ficaram durante os próximos cinquenta anos enquanto reclassificavam os

organismos e reavaliavam seus conceitos de espécies. Talvez Elton tenha exagerado, porém a interrupção nos estudos ecológicos foi notável, e durante uns trinta anos quase nada importante ocorreu no campo. Somente no final do século XIX apareceram estudos ecológicos sérios. Os primeiros desses estudos eram sobre comunidades de plantas e foram realizados nas dunas da costa da Dinamarca e do Lago Michigan, nos Estados Unidos, e nos cerrados de Lagoa Santa, por Warming. Vale lembrar que, no início do século XX, o cerrado era um dos ecossistemas mais bem conhecidos no mundo inteiro.

Somente no final do século XIX a ecologia saiu da fase pré-darwiniana, quando apareceram notáveis publicações científicas sobre a geografia de plantas baseada na sua fisiologia e morfologia (Mc-Millan, 1894, 1896, 1897; Warming, 1895; Schimper, 1898; Clements, 1902), sobre comunidades de animais e de plantas (Möbius, 1877; Forbes, 1880, 1887; Shelford, 1913) e sobre sucessão vegetal (Cowles, 1899; Clements, 1904, 1916; Shelford, 1907). Foi criada a revista científica *Journal of Ecology*, em 1908, na Inglaterra, e o primeiro livro sobre a ecologia dos animais foi *Animal ecology*, do inglês Charles Elton, publicado em 1927. Assim, a ecologia começou a ser reconhecida como ciência, e seu desenvolvimento foi assegurado.

No desenvolvimento como disciplina científica, havia diferenças entre ecologia vegetal e ecologia animal. Os botânicos começaram com descrições de comunidades vegetais, enquanto os zoólogos enfatizaram os números de animais, especificamente os de populações humanas e de insetos que são pra-

gas agrícolas. As diferenças aconteceram principalmente porque os dois grupos optaram pelos caminhos mais fáceis. Plantas são fixas e não é difícil encontrar todas numa comunidade. Entretanto, muitas sementes são capazes de permanecer dormentes no solo durante vários anos e ainda germinar quando estimuladas, e esse atributo complica as investigações sobre populações de plantas porque não se sabe quantas estão vivas e quantas morreram. Por outro lado, é mais difícil estudar comunidades de animais porque estas envolvem maiores números de espécies, e muitas delas se deslocam de uma comunidade para outra. Portanto, temos de aceitar as dificuldades envolvidas em estudar animais. Como o ecólogo australiano Graham Pyke falou: "Sob circunstâncias cuidadosamente controladas, o animal fará como quiser". Dois grupos de pessoas, botânicos e engenheiros florestais, têm pavor de animais em seus estudos. Animais movem-se e, às vezes, seu comportamento parece estranho ao observador humano (porém pode confiar que não é tanto quanto o comportamento humano parece aos animais).

No entanto, ainda existem enormes lacunas em nosso conhecimento dos aspectos mais simples da vida de inúmeras espécies de plantas e animais tropicais e precisamos de informações básicas e simples sobre a história natural desses organismos. Por exemplo, não sabemos o que a maioria dos animais come e muito menos suas preferências alimentares. No Brasil, apesar do crescimento de várias áreas biológicas, as lacunas ainda são maiores que o conhecimento, e, à rapidez do desmatamento, o número de pesquisadores é insuficiente

para avaliar a riqueza da natureza antes da sua devastação. É necessário que os observadores da natureza gastem um tempo para publicar alguns dos seus dados.

Várias outras ciências têm contribuições importantes a dar à ecologia. São vários os aspectos de botânica, zoologia, genética, fisiologia, bacteriologia, virologia, geografia e geologia. Incluem-se aí estudos de comportamento animal, climatologia, microclimatologia e sistemática.

### *A ecologia hoje*

Os seguintes exemplos mostram alguns tipos de estudo ecológico que estão sendo conduzidos hoje.

1. Na área da ecologia reprodutiva de plantas, recentemente estão sendo feitos estudos interessantes sobre a rivalidade entre irmãos para os recursos fornecidos pela mãe, enquanto a mãe está lutando para dividir seus recursos igualmente para poder ter o número máximo de prole. E isso é entre os grãos de feijão em uma vagem e a planta mãe.
2. Uma área nova de estudo é o da folha recém-amassada, que

emite um cheiro capaz de atrair vespas e outros insetos que são predadores das lagartas que comem as folhas.

3. As florestas e as savanas estão sofrendo muita fragmentação, e sabemos pouco sobre como isso afeta a vida das plantas e dos animais nas remanescentes. Essas questões estão sendo investigadas na floresta amazônica pelo pessoal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, de Manaus, com a Smithsonian Institution, de Washington, e, mais recentemente, na Mata Atlântica, por pesquisadores da Universidade Estadual de Santa Cruz de Ilhéus, na Bahia.
4. Existe uma grande polêmica sobre os fatores que regulam a diversidade de espécies e por que a diversidade está alta em certos lugares e baixa em outros. Vários estudos estão investigando questões relacionadas à biodiversidade.

Entretanto, existe um certo problema na aplicação de informações. Em termos intelectuais, a evolução de uma ciência segue a sequência de *descrição*, *experimento*, *predição* e *aplicação*. Hoje, a maioria

dos ecólogos está muito envolvida com a parte de *experimento* e muitos estão entrando bastante na batalha com a *aplicação*. Portanto, grandes dificuldades estão sendo criadas porque não possuímos dados básicos suficientes sobre a parte de *descrição* e deveríamos estudar a *predição* com muito maior intensidade. Por necessidade, pulamos para a *aplicação*, que compõe uma das várias áreas de estudos ambientais. Por exemplo, na recuperação de áreas degradadas, precisamos saber:

*Descrição:* Quais eram as espécies que habitaram a floresta que foi derrubada e as inter-relações entre si?

*Experimento:* Quais são os fatores ambientais que regulam os números das plantas e dos animais presentes? Quais são os efeitos da retirada de uma ou outra espécie (como madeira nobre ou um animal dispersor de sementes)? Quais são os efeitos da introdução de espécies exóticas?

*Predição:* Quanto tempo leva para a reconstrução da floresta? A nova floresta seria igual à antiga? Quais serão os efeitos de novas mudanças na floresta, quanto se poderia retirar de madeira ou de caça? Como a retirada das espécies que fornecem madeira nobre afetaria as populações dos animais que dependem dessas árvores e de quais árvores dependem?

*Aplicação:* Como reconstruir a floresta? Como recuperar as populações das espécies mais importantes no funcionamento da floresta?

Antigamente, naturalistas também fizeram claras distinções entre *predação*, *parasitismo* e *herbivoria*. A predação era restrita à ação do animal, que mata e come outro animal. Nos encontros entre

**Uma área nova de estudo é o da folha recém-amassada, que emite um cheiro capaz de atrair vespas e outros insetos que são predadores das lagartas que comem as folhas**

# Cada espécie depende de várias outras para sua sobrevivência, e estudos sobre essas interações forneceram alguns dos mais interessantes resultados nas últimas décadas

animais distinguiram entre *predação* e *parasitismo*, e isso dependia da rapidez com que a vítima morria. Durante as últimas décadas, essas divisões nas linhas de plantas e animais ficaram menos nítidas. Por exemplo, quando um besouro come um grão de feijão, isso é chamado de predação de semente, e, do ponto de vista ecológico, as duas são mais ou menos iguais; um animal predador e, então, elimina outro organismo vivo. Hoje, a grande partição divide a ecologia em duas áreas: *ecologia de populações* e *ecologia de comunidades ecológicas*.

## ECOLOGIA DE POPULAÇÕES

Uma população é um grupo de indivíduos que vivem juntos, sendo que todos os membros de uma população são da mesma espécie. Na área da ecologia de populações, estamos investigando o número de indivíduos e avaliando os fatores que mantêm o tamanho da população dentro de certos limites. A maior questão sobre cada população é: com seu enorme potencial para aumentar seus números, por que não há mais? Charles Darwin calculou que um casal de elefantes poderia gerar uma descendência de 19 milhões em 750 anos. Por essas razões, o estudo da ecologia de populações é fundamental para qualquer ecólogo.

Poucos anos atrás, uma das grandes discussões era saber quais fatores seriam mais importantes para regular o tamanho das populações de organismos: se bióticos ou abióticos. Fatores bióticos são vivos, como a predação, a alimentação e a competição entre outros seres vivos, enquanto os abióticos não envolvem seres vivos e incluem sol, chuva, seca, temperatura, salinidade, etc. Essa discussão é antiga, parece que começou quando o francês Buffon (1756) considerou fatores abióticos como os mais importantes e não concordou com Aristóteles sobre a importância da chuva! Na realidade, ambos são importantes, e a importância relativa dos dois pode variar durante o tempo e de um lugar para outro.

## ECOLOGIA DE COMUNIDADES

Uma comunidade ecológica é o conjunto de populações de várias espécies que convivem e interagem entre si. Cada espécie depende de várias outras para sua sobrevivência, e estudos sobre essas interações forneceram alguns dos mais interessantes resultados nas últimas décadas. São muitas histórias fascinantes. Como temos, neste país, a maior floresta tropical, seria interessante relatar umas das recentes pesquisas sobre esse ecossistema.

ecossistemas

## UM POUCO DA ECOLOGIA DAS FLORESTAS TROPICAIS DO NOVO MUNDO

Como o Brasil possui a maior parte da mais rica floresta do mundo, vale pensar sobre alguns aspectos ecológicos dessa floresta. As florestas tropicais são famosas por seu grande número de espécies de plantas e animais. Ocupando somente 7% da superfície terrestre, elas contêm mais da metade das

espécies do planeta. A opinião de muitos ecólogos é que essas características são resultado principalmente das atividades do vasto número de espécies de animais, que têm papel fundamental no funcionamento dessas florestas. Os animais afetam a vida das plantas de três maneiras: herbivoria – comendo folhas e sementes –, polinização de flores e dispersão de sementes. Esses três aspectos são

interligados. É muito provável que grande parte dessa história valha tanto para os neotrópicos (a região das Américas, do México ao Sul) como para os paleotrópicos (a região tropical do Velho Mundo).

Os animais herbívoros (muitos dos insetos e mamíferos terrestres) matam vastos números de sementes e plântulas. Plantas são imóveis, e por isso possuem defesas efetivas contra os ataques desses animais. A estratégia da planta combina dois fatores: a defesa química e o afastamento da árvore mãe. As substâncias que fornecem a defesa química, chamadas de “compostos secundários”, são inseticidas naturais. Esses compostos variam de moléculas simples, como ácido cianeto e ácido oxálico, até taninos complexos, alcalóides, terpenóides e aminoácidos. As árvores nos cerrados e nas florestas brasileiras que contêm alcalóides são *Strychnos*, que possuem estricnina, e *Erythroxylum*, que contêm cocaína. O feijão contém canavanina, e a batata inglesa contém solanina. Várias dessas substâncias são tóxicas para os humanos, porém as duas últimas são neutralizadas quando cozidas. Entretanto, não são todas tão venenosas, e muitos dos fármacos e a maioria dos temperos culinários são derivados dos compostos secundários de plantas tropicais.

Ao longo dos últimos 600 milhões de anos, enquanto as plantas estavam evoluindo em suas defesas, os insetos faziam evoluir meios de combater essas substâncias. Agora, cada espécie de inseto herbívoro consegue comer e desintoxicar as sementes ou as folhas de uma (ou poucas espécies) de planta, e cada espécie de planta, em uma determinada região, produz um composto secundário diferente.



Wagner Soares

Estima-se que os animais sejam responsáveis pela polinização de 98% das espécies de plantas nas florestas tropicais úmidas

## BIODIVERSIDADE

O resultado é que, em uma floresta, existem poucas plantas que cada espécie de inseto consegue comer, e essas plantas hospedeiras estão efetivamente escondidas no meio de uma quantidade enorme de folhas. O resultado é que a maioria dos insetos morre antes de encontrar um indivíduo da espécie certa de planta na qual pôr seus ovos, e, por isso, insetos não viram pragas nas florestas, nas savanas e nos outros ecossistemas naturais.

No entanto, essa estratégia de defesa contra os animais herbívoros cria outro grande problema para as árvores e outras plantas. Elas podem enfrentar certos problemas na produção de sementes e na dispersão dessa prole para lugares afastados da árvore mãe, onde as novas plantas poderão se estabelecer e crescer escondidas

dos predadores. Primeiro, quase todas as espécies de plantas são auto-estéreis, ou seja, cada flor tem de receber pólen de uma outra planta para poder produzir sementes. Segundo, as sementes têm de ser transportadas a longas distâncias da árvore mãe para poder sobreviver a essa predação.

As longas distâncias entre árvores da mesma espécie inibem o uso do vento para transportar o pólen de uma flor para outra, então as plantas aproveitam as visitas dos animais para a polinização, porque eles são transportadores muito eficientes de pólen. Esses vetores de pólen são principalmente abelhas, aves e morcegos, cujas visitas são essenciais para a maioria das plantas neotropicais produzir sementes. A estimativa é de que os animais sejam responsáveis pela polinização de 98% das espécies

de plantas nas florestas tropicais úmidas. As plantas utilizam várias estratégias, como a forma e o tamanho da flor, o horário de abrir as flores e a época do ano de floração para maximizar a eficiência dessas visitas.

A maioria das plantas neotropicais precisa dos serviços dos animais também para dispersar suas sementes. Os agentes de dispersão de sementes são principalmente aves, morcegos, primatas e alguns mamíferos terrestres. Os animais jogam fora, cospem, regurgitam ou defecam sementes ou guardam-nas em esconderijos. Reportagens provenientes de muitas florestas neotropicais estimam que 80% das árvores e outras plantas produzem frutos carnosos que são dispersados por animais (e o restante pelo vento).

O resultado desses três aspectos das relações entre plantas e animais

é a alta diversidade de espécies nas florestas neotropicais. Uma grande consequência dessas inter-relações é que as árvores não reproduzem e as florestas não funcionam normalmente sem a presença dos animais. Por isso, o tipo de conhecimento necessário para o melhor manejo de uma reserva de floresta neotropical vem dos estudos que investigam as relações entre plantas e animais.

#### **BIODIVERSIDADE**

O mundo inteiro está preocupado com as perdas da biodiversidade, porém temos pouca idéia de quantas espécies existem e muito menos sobre o que a maioria faz. Biodiversidade é a diversidade biológica, e o termo foi criado por Dillon Ripley quando era secretário da Smithsonian Institution de Washington. Existem três componentes e todos são bem conhecidos por ecólogos. Para antropólo-

gos, também existe a *diversidade cultural* das sociedades humanas.

1. A *diversidade de espécies* é uma medida da mistura e do número de espécies presentes e da abundância de cada uma delas.
2. A *diversidade de habitats* é uma expressão da variedade de locais diferentes. Por exemplo, em uma floresta, são o dossel, o sub-bosque, o chão, clareiras, troncos caídos, ribeirões, brejos, rochas expostas, etc.
3. A *diversidade genética* significa que nem todos os indivíduos são iguais geneticamente.

Com o surgimento da biotecnologia, que possibilita, por meio da engenharia genética, a transferência de genes de uma espécie para outra, muitas espécies selvagens passaram a apresentar interesse econômico intrínseco.

**Com o surgimento da biotecnologia, que possibilita a transferência de genes de uma espécie para outra, muitas espécies selvagens passaram a apresentar interesse econômico intrínseco**

As estimativas mais confiáveis apontam a existência de 5 milhões a 10 milhões de espécies neste planeta (esses números são projetados com base nos números de espécies já conhecidas e de não conhecidas cientificamente em muitas grandes amostras). A menor estimativa, de 5 milhões de espécies vivas, mostra nossa ignorância sobre a biodiversidade, porque somente 1,5 milhão de espécies são conhecidas cientificamente e possuem nomes científicos. Isso significa que pelo menos 70% das espécies que existem não são conhecidas pela ciência.

Sabe-se que a maioria das espécies vive nos trópicos, e o Brasil abriga as mais diversificadas e as menos conhecidas flora e fauna do mundo. Por exemplo, no Distrito Federal, longe das grandes florestas, são registradas mais de 3 mil

espécies de plantas floridas, 4 mil de mariposas e 1.250 de borboletas. (Para o fornecimento desses dados, agradeço aos drs. James A. Ratter, Vitor O. Becker e ao falecido David R. Gifford, todos pesquisadores da Universidade de Brasília.) Para uma comparação simples, as Ilhas Britânicas cobrem 56 vezes o tamanho do Distrito Federal e possuem apenas setenta espécies de borboletas e 1.500 de mariposas.

Entretanto, as espécies desconhecidas não são apenas microorganismos, animais e plantas muito pequenos. Durante a última década, uma espécie nova de tubarão de cinco metros de comprimento foi descoberta. Na Mata Atlântica da Bahia, a menos de dez quilômetros do litoral, botânicos do Ceplac mostraram-me uma nova espécie de árvore cuja fuste possui mais de um metro de diâmetro. Outro

exemplo: até hoje são registradas 860 espécies de abelhas silvestres nos cerrados; destas, cerca de 140 (16%) são novas para a ciência.

#### A POPULARIDADE DA ECOLOGIA

Nos anos de 1970, a ecologia tornou-se popular entre leigos porque prometeu tratar dos problemas ambientais como poluição, desmatamento, perda de *habitats* naturais, extinção de espécies, mudanças de clima, etc. No começo dessa época, os leigos, seriamente preocupados com os problemas ambientais, chamaram-se de *conservacionistas*. Portanto, a palavra ecologia é mais simples e, talvez, mais bonita que *conservação*. O nome *ecologista* também sugere algo ligado à ciência e, conseqüentemente, mais sério. Os trabalhos aplicados sobre o meio ambiente foram reunidos em uma tecnologia coletiva chamada *enge-*

*nharia ambiental* (ou *estudos ambientais*) que, hoje, inclui manejo ambiental, manejo de poluição, regulação de pragas agrícolas, controle de vetores de doenças, manejo de reservas de natureza e conservação, etc. Entretanto, as promessas da ecologia em ajudar a resolver os problemas ambientais eram grandes demais, porque os problemas cresceram muito rápido e continua difícil para a ciência da ecologia acompanhá-los. Hoje, essas áreas aplicadas são cada vez maiores e mais abrangentes.

Para ilustrar como muitos problemas ambientais crescem, o seguinte exemplo foi construído. Imagine-se que uma alga vive na superfície de uma lagoa e, a cada dia, dobra a área que cobre. Isso pode virar problema porque a sombra causada pela alga mata os organismos embaixo. A questão é: "Em qual dia a alga cobre somente

# CONSERVAÇÃO

**A relação entre a  
ecologia e os  
estudos ambientais  
é como a relação  
entre a física e as  
ciências de  
engenharia**

metade da lagoa?” Lester Brown escreveu sobre esse e outros problemas ambientais no seu livro *The 29<sup>th</sup> Day*.

Um dos resultados da rapidez dos acontecimentos ambientais é que muitas pessoas que trabalham na área de estudos ambientais têm pouca noção da parte ecológica dos seus projetos. Essa situação surgiu porque não houve tempo para formar o número de pessoas necessário na área aplicada. Porém, temos de aceitar que a ecologia é a base de todos os estudos sobre o meio ambiente e, pessoalmente, considero fundamental que qualquer pessoa que trabalhe com o meio ambiente faça um curso básico sobre ecologia. A relação entre ecologia e os estudos ambientais é como a relação entre a física e as ciências de engenharia. Portanto, jamais se poderia imaginar uma pessoa trabalhando na engenharia civil, elétrica ou mecânica sem fazer um curso básico de física.

Outra comparação está baseada no princípio Gaia. Isso sugere que as inter-relações entre os seres vivos são tão fortes que a biosfera funciona como um organismo vivo. (A biosfera compõe-se de toda a parte biológica do planeta.) Daí, podemos fazer a seguinte analogia: é óbvio que o médico tem de ter um conhecimento excelente sobre o funcionamento normal do corpo humano sadio para poder ajudar o doente. Da mesma maneira, precisamos saber bastante sobre o funcionamento ecológico normal deste planeta para podermos tratar dos problemas ambientais, e essas investigações os ecólogos estão fazendo.

Como observei no começo deste artigo, todos os ecólogos que conheço também são ecologistas. A ligação entre os ecólogos e outras pessoas interessadas no meio

ambiente é crucial para que tenhamos a chance de mitigar alguns dos graves problemas que nossa espécie está enfrentando hoje. Nesse sentido, a responsabilidade dos ecólogos é fornecer uma fonte confiável de conhecimento dos seres vivos e do meio ambiente que forma a base para que os estudos aplicáveis e aplicados possam ser desenvolvidos com segurança.

### **IMPACTOS HUMANOS NOS ECOSISTEMAS NATURAIS**

Muito se tem escrito sobre a destruição ambiental e as consequências que essa ação terá para o futuro da humanidade. Nos tempos antigos, já existiam problemas ambientais, às vezes sérios. Porém, naquelas épocas, a destruição do meio ambiente envolvia, principalmente, desmatamento. Hoje envolve também poluição do ar, da água e do solo, extinção de espécies e mudanças no clima, e as escalas são em nível local, regional e global. Muitos dos problemas são mais econômicos que ecológicos, e grande parte do conflito de idéias entre ecólogos e economistas foi resolvida. Antes o economista não queria planejar mais do que cinco anos para o futuro, e o ecólogo estava pensando de trinta anos em diante. Nas últimas décadas, as escalas de tempo dos dois aproximaram-se.

### **DESMATAMENTO**

Um dos acontecimentos mais notáveis neste planeta é que, cerca de quarenta anos atrás, tínhamos um mundo natural com várias áreas modificadas pelos povos, enquanto hoje vivemos em um mundo cuja maior parte é dominada ou influenciada por humanos com alguns remanescentes de vida natural. Essa fragmentação de *habitats*

cria enormes dificuldades para a sobrevivência dos organismos restantes. É ilusão pensar que, nos lugares onde a caça e a pesca estão proibidas, remanescentes compostos somente de espécies nativas possam ser considerados completamente naturais. O tamanho do remanescente e seu isolamento de outros são aspectos artificiais, fatos estes que devem ser lembrados quando do planejamento de seu manejo. Várias espécies precisam de grandes áreas, e muitas populações que sobrevivem durante um período em áreas menores finalmente se extinguem, e não há como essas espécies voltarem a estabelecer novas populações. O ecólogo norte-americano Daniel Janzen falou dos “vivos mortos”. Porém, espécies de árvores que são saudáveis e florescem bem, por falta de polinizadores e dispersores de sementes e de espaço para suas plantas jovens, não conseguem reproduzir e são condenadas à morte sem deixar sua prole.

# DESMATA

Após passar na Amazônia, o naturalista Alfred Russell Wallace comentou, em 1870, sobre a irresponsabilidade do que ele chamou de *the reckless clearing of forests*. Mas o desmatamento não é somente a derrubada de árvores. Na escala local causa erosão, que resulta em enchentes e deslizamentos. Hoje, o desmatamento derruba áreas tão grandes que está ameaçando de extinção ecossistemas inteiros. Os dois grandes ecossistemas mais ameaçados de extinção total são a Mata Atlântica do Brasil e a mata pluvial do litoral oriental de Madagascar. Tudo indica que o Brasil ganhará essa corrida desgraçada.

## EXTINÇÃO

Hoje, 10% das milhares de espécies de plantas que produzem flores e de vertebrados vivem sob ameaça de extinção, e poucas pessoas falam dos insetos ou dos outros invertebrados. Essas plantas e animais possuem histórias para serem contadas, e como Daniel Janzen bem observou, a destruição das florestas tropicais assemelha-se ao fato de aceitarmos a queimada das

maiores bibliotecas do mundo sem abrir nenhum livro; lembremos do destino da biblioteca de Alexandria. Com base nessa analogia, é óbvio que as florestas teriam melhores chances de serem protegidas se fossem mais bem conhecidas.

A extinção dessas espécies importa para o homem? Não podemos deixar as espécies inúteis morrer e proteger somente as úteis? Antes de responder a essas perguntas, é melhor responder às seguintes perguntas de Jared Diamond (1991: 324). Em termos globais, quais são as dez espécies de árvores que produzem a maior parte do papel? Para cada uma dessas espécies, quais são as dez espécies de animais mais importantes no controle dos insetos pragas, as dez que polinizam a maioria de suas flores e as dez que dispersam a maioria de suas sementes? Quais são as outras espécies importantes para a sobrevivência dessas trinta espécies? Após responder a essas perguntas com certeza, poderemos decidir quais das espécies poderiam ser extintas sem prejudicar a produção de papel.

## DIVERSIDADE E AGRICULTURA

Agricultura é a atividade humana que ameaça o maior número de espécies de extinção e também é a área antrópica que mais depende da diversidade de espécies. A agricultura depende de muitas espécies nativas, principalmente nas três áreas seguintes:

1. Organismos do solo.
2. Predadores de pragas agrícolas.
3. Polinizadores dos cultivos agrícolas.

A Conference of the Parties é o órgão responsável pela implementação do acordo assinado no encontro Eco 92, no Rio de Janeiro. No terceiro encontro, em novembro de 1996, foi aceita a proposta brasileira da Coordenação-Geral de Diversidade Biológica do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal para solucionar o problema da perda de polinizadores na agricultura. Alguns fatos recentes influenciaram essa decisão. Um terço de toda a produção agrícola depende de as abelhas polinizarem as flores. A espécie principal para

esse serviço é a abelha comum, chamada “europa” ou *Apis mellifera*. Infelizmente, essa abelha está sofrendo de uma doença chamada *Varroa* e, em muitos países, o número de colméias diminuiu de 40% a 50%; a maior parte dessa queda ocorreu durante a última década. Por isso, a produção de vários cultivos em certos países caiu em 10%. Agora, até alguns políticos estão perguntando: “Temos outras abelhas? Quais são?” A resposta é que temos sim, mas seu número caiu muito na última década, resultado do uso de agrotóxicos e do desmatamento. Nesse caso, temos uma situação em que a perda de biodiversidade custa dinheiro, podendo virar um sério problema para a agricultura. O Brasil está tomando a iniciativa de sugerir soluções, e em um encontro internacional em outubro passado, em São Paulo, começou a discutir o problema.

## MUDANÇAS DO CLIMA

Parece, finalmente, que todo mundo aceita que estamos sofrendo em função de mudanças no clima global, porém a questão continua sendo quem é o responsável: ou Deus ou os americanos. Durante a última Conference of the Parties (em out./nov. de 1998, em Buenos Aires), os delegados dos Estados Unidos ainda tentaram discutir quais seriam as medidas necessárias para mitigar o problema. Entretanto, seria muito difícil e custaria muito caro para um país resolver os 25% do problema que está causando pois não quer comprometer o desenvolvimento econômico do país. Os apologistas aproveitam vários argumentos para defender sua posição de inação, por exemplo, que o efeito de uma erupção vulcânica, como a de

Pinatubo, poderia mudar o clima global mais que as ações humanas. Esse argumento é falso porque uma ação não estaria sobreposta a outra; os efeitos são somatórios. É alarmante que os especialistas que estudam mudanças climáticas sejam os mais preocupados com o futuro do clima do nosso planeta. Por exemplo, temos dados confiáveis que mostram como os aumentos de CO<sub>2</sub> influenciam no aquecimento global. Portanto, há muito CO<sub>2</sub> preso no gelo nos dois pólos, e o descongelamento liberará ainda mais esse gás; um efeito chamado retroalimentação positiva.

Mudanças globais do clima criam inúmeros problemas para a humanidade, e por isso tudo deveria ser feito para diminuir o efeito. O leigo nem pode imaginar quais são muitos desses problemas. Alguns exemplos são os seguintes. Com um aumento de temperatura de 6° C, o pernilongo *Anopheles*, o vetor da malária, poderia virar praga em Nova York, Roma e outras grandes cidades. Furacões são semeados

nas águas do oceano acima de 24°C e, como essa banda global se está expandindo, estão previstos mais furacões, que atingirão mais países. Nos últimos anos, os cupins (um grupo típico dos trópicos) começaram a devorar os prédios antigos de New Orleans e também apareceram na Inglaterra, onde estão tornando-se um problema.

### DOENÇAS

Todo mundo sabe algo da história do ebola, a terrível doença do Zaire. Mas você já ouviu algo sobre as doenças chamadas lassa fever, ou maputo, ou junin? Veja no recente livro de Laurie Garrett. O ebola mata 90% das pessoas infectadas. O lassa fever da África ocidental faz igual: mata 90%. As outras duas não são tão perigosas, o que é bom porque ocorrem perto do Brasil. Maputo é uma cidade na Bolívia perto de Rondônia; a doença apareceu ali e matou 30% dos infectados. Junin é uma cidade no norte da Argentina, e lá matou somente 10%. Todas essas doenças são viroses transmitidas pela urina de ratos silvestres. Sobre maputo e junin, sabemos que as doenças apareceram após desmatamento, quando então os ratos não tinham para onde ir e entraram em casas. Em todos esses

casos e em outros similares, é fundamental estudar a ecologia do organismo que causa a doença e também o vetor. A grande dificuldade em controlar o ebola é que o vetor ainda não foi identificado.

Certos aspectos dessas doenças são muito preocupantes. Em 1995, durante uma epidemia de ebola, um homem em um voo do Zaire para Toronto passou mal. Logo foi descoberto que ele tinha visitado sua mãe no Zaire, que acabou por morrer de ebola. Agora, tenho uma pergunta para o senhor leitor: o que você acha que as autoridades canadenses deviam ter feito? Pôr a pessoa em quarentena? Mas essa ação seria considerada prisão ilegal porque não existe lei sobre isso. Soltá-la nas ruas de Toronto? E depois, se ocorrer uma epidemia de ebola em uma grande cidade? Felizmente, nada de mal aconteceu – naquela vez.

### A HISTÓRIA DA NOSSA ESPÉCIE

*Onde fazem deserto, eles chamam de paz*  
Tacitus, que viveu entre cerca de 55 a cerca de 117 depois de Cristo

A destruição de nosso ambiente e a exterminação de espécies não são fenômenos novos que começaram durante a Revolução Industrial do século XIX – eles simplesmente foram acelerados. Os povos pré-industriais exterminaram espécies, danificaram seus ambientes e prejudicaram sua existência durante milhares de anos.

#### *Extinção*

São muitos os exemplos da extinção de espécies. Levando em consideração onde a evolução do *Homo sapiens* começou, não é surpreendente que a extinção dos grandes mamíferos causada pelos humanos também tenha começa-

do na África. Existem evidências de que vários grandes mamíferos se tornaram extintos após o homem. O homem de Cro-Magnon inventou o arco, a flecha e a lança bem apontada. Nas outras regiões do mundo, a extinção dos grandes mamíferos começou em massa com a chegada dos primeiros humanos; há 50 mil anos, na Austrália, e há cerca de 11 mil anos, no Novo Mundo. Nas Américas, eles incluem o leão,

d e s t r u i ç ã o

o tigre-dentes-de-sabre, o cavalo, o mamute, o tatus gigantes, as preguiças terrestres. Logo depois, as Antilhas perderam macacos, preguiças terrestres, um roedor do tamanho de um urso e corujas gigantes.

Há exemplos mais recentes. A ilha de Madagascar foi colonizada por povos da Indonésia há cerca de 2 mil anos. Os portugueses, os primeiros europeus, chegaram cerca de 1500 d. C. Encontraram grande número de

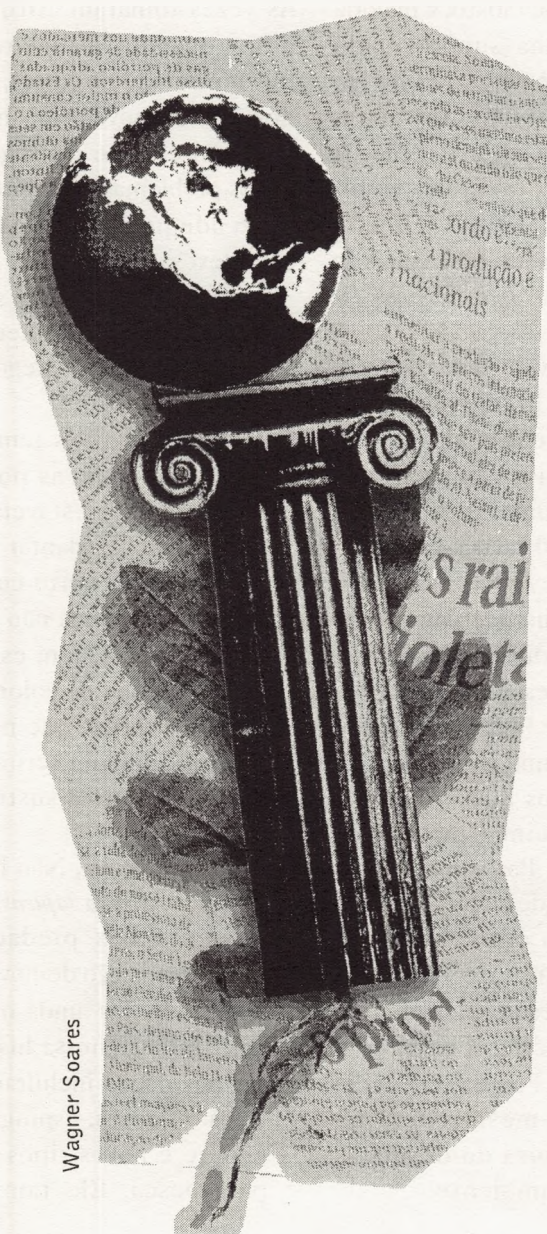
cascas de ovos e ossos de pelo menos dez espécies de ratitas (parentes da ema e do avestruz), as maiores atinguindo 450 quilogramas e três metros de altura. Encontraram também muitas outras espécies, inclusive um hipopótamo e lemures do tamanho de um gorila. Sítios arqueológicos mostram que o povo tinha comido uma quantidade enorme desses animais.


Em 1800, os únicos mamíferos nativos da Nova Zelândia eram

morcegos, não havendo grandes aves. Hoje, sabe-se que 28 espécies de grandes aves foram extintas nas poucas centenas de anos antes da chegada dos europeus. Elas incluem um marreco grande, uma grande jaçanã e um ganso imenso – todos sem condição de voar. As aves voadoras eram um cisne, uma gralha gigante, uma águia imensa (pesando 13,5 quilogramas) e uma dúzia de ratitas, inclusive uma pesando 225 quilogramas e de três metros de altura. Muitas dessas aves ainda eram abundantes quando os maoris chegaram, cerca de 1000 d. C., e sítios arqueológicos mostram que os maoris comiam um vasto número desses animais.

As espécies que habitam ilhas pequenas são especialmente vulneráveis. Podemos começar pela Europa, onde as ilhas de Creta e Chipre tiveram hipopótamos, elefantes, veados e tartarugas gigantes. Pelo menos cinquenta espécies de aves foram exterminadas nas ilhas do Havaí durante o ano 1500, quando os polinesianos chegaram, e com a chegada do inglês capitão Cook, em 1769.

Casos mais recentes são a alca grande (*Pinguinus impennis*), que se reproduzia nas ilhas da Escócia, da Noruega e da Islândia. Os últimos indivíduos foram mortos em 1844 pelos “naturalistas” em busca de peles para museus. O dodo de Mauritius, uma espécie de pombo, é o símbolo das recentes extinções causadas pelo homem, tendo sido exterminado por marinheiros. As espécies de papagaios da Martinica e de Guadalupe, nas Antilhas, estão extintas. Portanto, a única descrição da espécie martiniquenha e que indica qual foi o seu destino está em um livro de receitas francesas de cozinha.





Os povos pré-industriais falharam em não conseguir resolver os problemas ecológicos de maneira adequada, pois estes eram complexos

### *Destruição de habitat*

São vários os exemplos da destruição de *habitats*, e essas civilizações antigas sumiram no abismo de obliúvio. Antigamente, Petra, na Jordânia, era uma cidade poderosa no Levante. O local foi ocupado desde 7000 a. C. e, como se localiza num ponto central com acesso à Europa, ao Oriente Médio e à África, era um centro comercial de grande importância. Hoje está circundada por deserto. Estudos fornecem informações sobre as mudanças que aconteceram na vegetação. A região era coberta de floresta, entretanto, até a época de Cristo, a maioria da floresta tinha sumido, pelo desmatamento e pela ação de cabritos. As últimas árvores foram derrubadas para a construção da ferrovia de Hejaz (mostrada no filme *Lawrence da Arábia*). Hoje, a fama da cidade está ligada mais às imagens do filme *Indiana Jones e a última cruzada*.

Os índios navajos construíram uma cidade de prédios imensos. Um dos prédios que ainda existem na reserva chamada Chaco Canyon National Monument, no Novo México, tem 650 salas e cinco andares de altura. Até a construção dos arranha-céus de Nova York, era o maior prédio das Américas. A construção desses prédios começou cerca de 900 d. C., e sua ocupação terminou no século 12. Foram utilizados 200 mil toros, cada um com cinco metros de comprimento. Por que foram construídos no deserto? Naquela época, a região era coberta de floresta (de pinheiro ponderosa), e não um deserto. Dizem que os maias da América Central e o povo da Ilha da Páscoa no Pacífico sofreram o mesmo destino também por causa do desmatamento em seu ambiente.

### *Algumas observações e conclusões*

Povos pré-industriais exterminaram espécies, danificaram seus ambientes e prejudicaram sua existência durante milhares de anos. Nunca houve a “Época Dourada” que o filósofo francês Jean-Jacques Rousseau postulou. Como vimos anteriormente, o homem pré-industrial causou os dois tipos de dano: a extinção direta de espécies e a destruição do *habitat*. Nossos antecedentes enfrentaram dificuldades no cálculo de quanto poderia ser retirado dos recursos ambientais de forma sustentável. Às vezes tomaram atitudes erradas, e quando finalmente o povo foi convencido dos erros, era tarde demais. Os povos pré-industriais falharam em não conseguir resolver os problemas ecológicos de maneira adequada, pois estes eram complexos.

Podemos enquadrar a maioria dos fatores que destroem o meio ambiente em duas categorias:

1. *Colonizadores*. Nos tempos antigos, como hoje, as populações humanas mais estáveis tiveram tempo para se adaptar a seu ambiente, entretanto comunidades colonizadoras não estão sujeitas a isso. Quem estraga seu ambiente são os colonizadores de novas terras, que não sabem o quanto podem retirar do ambiente de forma sustentável e contínua.
2. *Novas tecnologias*. Não há dúvida de que o *Homo sapiens* é o mais eficiente dos predadores, e, com a aquisição de novas tecnologias, ele fica ainda mais terrível. Durante nossa história, essas novidades incluíram lanças, arcos e flechas, espingardas, dinamite e novos tipos de redes para pesca. Ele também usa

técnicas inadequadas de agricultura, como a mineração de solos e certas formas de agricultura mecanizada.

O resultado comum das ações erradas do próprio homem foi o abandono do lugar e, em certos casos, a morte da população local. As histórias dos povos relatadas anteriormente transmitem uma lição importantíssima para nós hoje.

### *A produção agrícola*

A partir da invenção da agricultura, os grãos são a fonte fundamental de alimentação para nós e, por isso, é conveniente usá-los como a base dos cálculos da alimentação humana. A estimativa é que cada pessoa precisa de 200 quilogramas de grãos por ano. Hoje, a média é de 300 quilogramas por pessoa, o que parece mais que suficiente. Porém, atualmente, 700 milhões de pessoas estão mal nutridas. Algumas médias são: 200 quilogramas na Índia, 300 quilogramas na China, 400 quilogramas na Itália e 800 quilogramas nos Estados Unidos. No Primeiro Mundo, a maior parte dos grãos é usada para alimentar animais. Se a produção global de grãos e a população humana continuarem crescendo às taxas de hoje, em 2020 teremos a média de 247 quilogramas por pessoa.

Paul Ehrlich, da Universidade de Stanford, na Califórnia, e Lester Brown, do Worldwatch Institute, em Washington, DC, acham que a produção agrícola está perto do seu limite. Existem predições de que acontecerá uma redução na produção agrícola mundial. Durante os anos de 1980, a área total cultivada no mundo diminuiu em 8%. Isso foi a primeira diminuição registrada durante toda a história

humana. Um total de 7 milhões de hectares (ou 0,5% das terras cultivadas) são perdidos a cada ano. Várias áreas irrigadas estão começando a sofrer os efeitos da salinidade, e 36% da produção global de grãos vem das terras irrigadas.

### *Futuros problemas?*

Especialistas sugerem que os problemas serão nas seguintes áreas.

1. *Falta de alimentos.* Existe um verdadeiro risco de falta de alimentos no futuro próximo e, se as safras diminuïrem, os preços aumentarão demais para muitas pessoas. Lester Brown chamou esse fenômeno do *grain shock*.
2. *Falta de combustíveis.* Para os povos mais pobres, a falta de lenha para cozinhar já é um problema tão sério quanto a obtenção do alimento.
3. *Falta de água.* Este problema existe por várias razões. Com a retirada de água para irrigação, em várias regiões o lençol freático baixa substancialmente. Em outras regiões, os desmatamentos prejudicam as reservas de água. No total, 70% da água doce utilizada pelo homem é para a agricultura.

### **ESPERANÇA?**

Como vimos, as dificuldades resultantes do mal uso dos recursos ambientais antigamente foram decorrentes da ignorância. Entretanto, falhas viram pecados morais quando sabemos qual seria a ação correta a tomar e qual seria a errada. Apesar de tudo, continuamos a destruir o meio ambiente como se nossa espécie nunca houvesse sofrido antes das sérias consequências de problemas ambientais. Nosso pecado hoje é a cegueira obstinada em face dos problemas

ambientais. Somos culpados de uma imoralidade imensa. A grande diferença era que nossos antecessores tiveram para onde ir após os estragos que causaram. Hoje, nossa situação é alarmante no nível global, porque problemas ambientais costumam crescer sem chamar muita atenção até que fica impossível ignorá-los.

Felizmente, existe uma esperança. Possuímos muito mais informações para evitar a estupidez que o homem moderno continua a cometer. Porém, embora as questões sejam ecológicas, as soluções são políticas, sociais e pessoais. Os meios para ajudar os po-

vos não é a devastação do meio ambiente. Todos têm crianças, e as próximas gerações precisarão de recursos para sua sobrevivência, que somente o meio ambiente oferece.

Não há dúvida para os ecólogos de que, no próximo século, os problemas ambientais transformar-se-ão nos mais importantes desse planeta – mais importantes que os problemas econômicos e de desemprego. Se o leitor tiver dúvida sobre essa opinião, sugiro que leia o livro de Jared Diamond para descobrir de onde vem nossa espécie e o que fizemos nessa viagem ao longo do tempo que estamos aqui. \*

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Maria de Lourdes Netto Simões, pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação, e à professora Talita Fontouri, do Departamento de Ciências Biológicas, ambas da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, por seus comentários valiosos a este artigo.

#### Anthony Raw

Pesquisador visitante na Universidade Estadual de Santa Cruz, pelo CNPq.

## referências bibliográficas

- ACOT, P. 1990. História da ecologia. Rio de Janeiro: Campus. 212 p.
- BEGON, M., HARPER, J. L., TOWNSEND, C. R. 1996. Ecology, individuals, populations and communities. 3ª ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1068 p.
- BUCHMANN, S. I., NABHAN, G. P. 1996. The forgotten pollinators. Washington, DC/ Covelo, CA: Island Press/ Shearwater Books. 292 p.
- DIAMOND, J. M. 1991. The rise and fall of the third chimpanzee. Londres: Vintage. 360 p.
- GARRETT, L. 1994. The coming plague. Nova York: Farrar, Strauss e Giroux. 750 p.
- WARMING, E. 1892. Lagoa Santa et bidrag til den biologiske plantegeografi. videns K. Slsk. Skr. 6. K. Danske Copenhagen, Dinamarca. Edição em português: WARMING, E., FERREI, M. G. 1973. Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros. Belo Horizonte: Itatiaia. 362 p.

*fisiologia vegetal no*  
**B · R · A · S · I · L**



Paulo Andrade

**Alfredo Gui Ferreira**

## O QUE É FISILOGIA VEGETAL?

Fisiologia vegetal poderia ser definida como o campo da ciência que estuda o funcionamento das plantas. Ela pode ser dividida em quatro grandes áreas: 1) relações hídricas; 2) nutrição mineral; 3) metabolismo; 4) desenvolvimento (incluindo crescimento, morfogênese, diferenciação e regulação). Essa divisão tem mais finalidades didáticas no ensino da fisiologia vegetal nos cursos de graduação e pós-graduação do que como forma de caracterizar um tipo de profissional e, mais que isso, o tipo de abordagem experimental. No caso, poder-se-ia dividir os fitofisiólogos (fisiologista de plantas) que fazem uma abordagem mais centrada no laboratório e trabalhos de bancada (fisiologia celular e molecular) e aqueles cujo trabalho é desenvolvido em campo, onde os parâmetros são avaliados na natureza, diretamente, ou em canteiros, ou, ainda, em casas de vegetação. Os equipamentos, a infra-estrutura e todo o apoio logístico então, na sua maioria, poderão ser distintos daqueles usados pelo pessoal de bancada.

As plantas vivem em comunidades onde há outros vegetais, animais e microorganismos e, em verdade, o funcionamento de um vegetal está muito ligado ao que acontece no entorno. Além das múltiplas interações bióticas, o vegetal tem uma série de interações com o meio abiótico que o cerca, quer com o substrato de onde retira os sais minerais e a água, quer com o ar, com o qual, principalmente, troca oxigênio e gás carbônico. Ademais, a regulação de vários fenômenos fisiológicos é feita pela temperatura, luz (intensidade, qualidade e duração), água e umidade relativa, etc.

Ora, se há interação com outros indivíduos, então já não se está tratando apenas de fisiologia, mas de ecologia, e ter-se-ia, então, a ecofisiologia, área de sobreposição entre ecologia e fisiologia.

Fosse a sobreposição somente com a ecologia, a tarefa de delimitação seria mais fácil de traçar. Mas o funcionamento da planta depende do material genético e das leis que regem a genética, de uma bioquímica e de uma biofísica complexas que alicerçam muitos dos conceitos de funcionamento celular. Some-se a isso que o funcionamento celular não depende só do quimismo das substâncias que o compõem, mas também das mensagens químicas que as plantas e outros organismos liberam para o meio e que podem ter influência no desenvolvimento de outros organismos.

Imaginando-se um ser multicelular, como são as plantas comuns com que deparamos dia-a-dia, há que se ter em conta que nem todas as células são iguais, e sim estão diferenciadas para atender a funções dentro da planta, como de condução, absorção de nutrientes, revestimentos, reprodução, etc. A estruturação das diferentes células reunidas e especializadas em funções constitui a anatomia vegetal, com a qual a fisiologia guarda íntimas relações. Os seres vivos, particularmente os vegetais, apresentam diferenças e semelhanças que permitem agrupá-los, e isso é matéria da sistemática (ou taxonomia) vegetal. Porém, não só formas podem agrupar ou distinguir plantas umas das outras, mas o comportamento fisiológico pode ser díspar e muitas vezes isso é facilmente observável em plantas cultivadas, nas quais um cultivar ou variedade distingue-se de

outro por poucas características morfológicas, mas pode estar isolado reprodutivamente de outra planta por seu funcionamento – por exemplo, o florescimento induzido por dias curtos (noites longas) ou por dias longos (noites curtas).

Por esses poucos exemplos pode-se perceber que há inter-relacionamento de fisiologia vegetal não só dentro da botânica, como também com várias outras áreas da ciência. Por ser trivial entre os fitofisiólogos, não se abordou o fato de eles trabalharem com amostras retiradas de uma população. O trabalho com amostras produz resultados médios. Isso implica uma abordagem casualística e probabilística e a utilização de modelos estatísticos. Por vezes, os comportamentos tornam-se tão previsíveis, se observados em certas condições experimentais, que leis podem ser verificadas e caracterizadas inúmeras vezes por expressões matemáticas.

Não era e não é meu intento assustar os leitores, pois isso seria uma estultice, ninguém leria as linhas seguintes. O intuito foi tão-somente de alertar que a fisiologia vegetal tem múltiplas interações com vários ramos das ciências. Como tal, os cientistas que fizeram ou estão fazendo a história desse campo da ciência em nosso país têm inserções variadas, com perfis nem sempre caracterizados só como fitofisiologistas.

### **OS PRIMÓRDIOS**

O interesse utilitário marcou e marca a exploração humana em quase todos os ramos da ciência. Basta observar a conduta dos indígenas em nosso país e pela América afora. As plantas despertaram interesse em quatro grandes vertentes: alimentação, uso curativo, em

rituais e na construção de abrigos e utensílios. À medida que avançava o domínio da agricultura, os povos nômades foram se fixando. Até hoje ainda se verifica em nossos indígenas esse aspecto nômade ligado, em parte, à abundância e ao esgotamento de recursos animais e vegetais em um determinado sítio.

Na ocupação do nosso território, esta estratégia natural foi seguida. Derrubou-se (e ainda se derruba de forma primitiva) a mata, para estabelecimento de cultivos. Os indígenas aproveitavam muitos dos recursos de nossa imensa biodiversidade, mas o europeu, que se estabeleceu aqui de forma hegemônica, valeu-se de muitas espécies de plantas que lhe eram familiares. Até porque, além de conhecê-las melhor, saber de muitos de seus usos, representavam um elo psicológico com a sua Europa querida. Ainda assim, as influências na alimentação, no uso farmacêutico e ritualista dos indígenas e africanos é marcante em nosso meio.

## **EXTRATIVISMO**

Isso não impediu que a exploração da mata atrás de recursos madeiros tivesse curso, seguida pela coivara que sulcou este país de leste a oeste e de norte a sul.

À exploração inicial que era só extrativista (ciclo do pau-brasil), seguiu-se o plantio de cana-de-açúcar no Nordeste e mais tarde cafezais no Sudeste, estes já bastante voltados para a exportação e importantes para a economia Reinado–República. O plantio, explorando os mesmos solos e a necessidade de aumento da produtividade, ensejou que procedimentos mais coordenados fossem executados. Estes são os primórdios da agricultura no país. O desenvolvimento europeu em suas universidades e em suas estações experimentais, bem como o norte-americano, influenciou para que progressos fossem feitos nesses primórdios no Brasil. Esse era o quadro que se observava na segunda parte do século XIX e no início do século XX. Nessa época também se desenvolveram muitas das escolas e estações

agrícolas. Algumas dessas instituições mais tarde geraram as atuais faculdades de Agronomia. Nesse ambiente, o estudo das plantas, de seu cultivo e comportamento propiciou que os primeiros estudiosos surgissem em nosso meio, especialmente ligados à nutrição mineral.

#### **OS PRIMEIROS FITOFISIÓLOGOS**

A história dos primeiros fitofisiólogos está baseada fundamentalmente nas narrativas existentes (1 e 2).

Poder-se-ia considerar a vinda de Felix Rawitscher, da Alemanha para o Brasil, em 1934, como o marco inicial para a fisiologia vegetal no país, já que os naturalistas e botânicos anteriores a ele que aqui estiveram eram de ciência descritiva. Esse estudioso, que tinha a ampla formação de um doutor na Alemanha da época, desenvolveu nos cerrados os primeiros trabalhos ecofisiológicos no Brasil, no que foi ajudado por outro cientista

alemão, Karl Arens, que depois viria a trabalhar independentemente, em Rio Claro, com sua esposa Thusnelda Arens. Arens desenvolveu a teoria do oligotrofismo mineral para explicar o funcionamento das plantas do cerrado, teoria que, mais tarde, se mostrou acertada, e que, sucintamente, reza que nos cerrados as altas taxas de alumínio e ferro imobilizam o fósforo, tornando-o inacessível ou pouco acessível às plantas. Na USP, no início da década de 1940, foi contratado M. G. Ferri, o qual, por longos anos, esteve chefiando o Departamento de Botânica da mesma universidade, tendo trabalhado em ecofisiologia, em balanço hídrico de plantas dos cerrados e com fitormônios na sua estada nos Estados Unidos. Seu discípulo mais notável é Paulo R. Castro.

A Comissão de Debelação da Praga do Cafeeiro, por iniciativa de Arthur Neiva, foi transformada em Instituto Biológico (1). Nele desenvolveu suas atividades o fitopatologista Agisleu Bitancourt, que fez incursões pela fisiologia vegetal em razão das alterações que fitopatógenos originam em plantas e como a produção de auxinas por aqueles patógenos altera a fisiologia de produção de tecidos vegetais. Também Karl Silberschmidt, em conjunto com suas assistentes Ailema Noronha e Marly Vicente, deu importantes contribuições ao papel da luz e da temperatura na regulação da germinação e a outros aspectos da fitopatologia que alteram a fisiologia das plantas. Deste mesmo grupo participava a fitopatologista Victoria Rosseti, que também teve várias inserções na fisiologia vegetal brasileira.

Para o Instituto de Botânica de São Paulo, no início da década de

1960, foi trazido Luiz F. G. Labouriau, que havia se doutorado nos Estados Unidos. Muito exigente com seus alunos e estagiários, extremamente inquieto, teve marcada influência no desenvolvimento da fisiologia vegetal no Brasil. Formou um laboratório por onde passaram José T. Prisco, Sônia M. C. Dietrich, Ivany F. M. Válio, Gil M. Felipe, Walter Handro, Alfredo G. Ferreira e Lauro Mohry, entre outros, que acabaram liderando grupos em diferentes regiões do Brasil. Labouriau, por divergências com a direção em São Paulo, mudou-se para Brasília por algum tempo, onde remontou seu laboratório. No início de 1970, o ambiente não era favorável a mentes inquisidoras e desafiantes, por isso ele mudou-se em 1973 para a

Venezuela, onde permaneceu por 13 anos. Em 1986 retorna ao Brasil, onde funda na UnB o Laboratório de Termobiologia, ao qual esteve à testa até seu falecimento, em 1996 (3).

Ainda em São Paulo, mas na cidade de Campinas, merece citação Coaraci Franco, que deu importantes contribuições, especialmente, à fisiologia do cafeeiro.

Outros nomes importantes para a fisiologia vegetal no Brasil são de Moacyr Maestri, em Viçosa, na fisiologia de relações hídricas e do estresse essencialmente em cafeeiros, e de Paulo T. Alvim, que iniciou suas atividades em Viçosa, indo para o exterior, onde permaneceu por vários anos. Voltou à Bahia onde, com seus estudos ecofisiológicos, ajudou a soerguer a lavoura cacaueteira no sudeste daque-

le estado, e nesta tarefa contou com ajuda de Nelson Maravalhas.

É possível que algumas omissões tenham acontecido, mas creio que os principais nomes que fundaram a fisiologia vegetal no Brasil foram declinados. Na década de 1970, a situação poderia ser resumida como: 1) falta de tradição da pesquisa em fisiologia vegetal; 2) falta de laboratórios equipados; 3) raridade de pessoas bem treinadas na área (4).

#### **A SEGUNDA GERAÇÃO**

Os primazes da fisiologia vegetal foram poucos, pinçados com certa facilidade. Agora, deve-se caracterizar os que vieram depois, e aí se podem citar alguns que já fizeram escola, com mais de trinta anos de vida profissional, e outros mais no-

vos, que chegaram a trabalhar no início de suas vidas profissionais com aqueles primazes, outros dando continuidade à sua formação com os primeiros alunos daqueles ou no exterior. Esta é a geração (alguns já aposentados) que ocupa as principais posições na fisiologia vegetal, neste final de milênio, no Brasil.

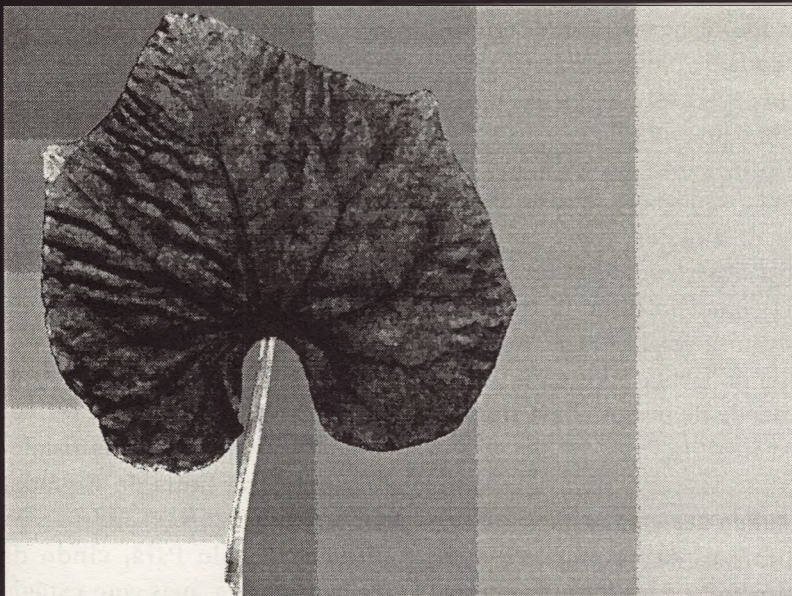
Neste momento, traça-se um eixo de norte para sul, o que no Brasil significa, em termos de fisiologia vegetal, da linha do Equador até a latitude 32° S.

Em Belém do Pará, vindo da área agrônômica, mas com estágio com Luiz G. Labouriau, encontra-se Vicente H. F. Moraes, que trabalhou com balanço hídrico de plantas do cerrado em São Paulo em meados dos anos 1960. Mais recentemente juntaram-se Benedito G. dos Santos Filho e Dora S. B. dos Santos, o primeiro em fisiologia de plantas agrícolas e aquela com doutorado em Campinas (Unicamp) na fisiologia e tecnologia de sementes. Há que se citar, na Embrapa/CPATU, Olinto G. da Rocha Neto e Moacyr B. Dias-Filho, que trabalharam em ecofisiologia de plantas pioneiras e da vegetação secundária na Amazônia.

Em Manaus, pela atração da selva amazônica, vários pesquisadores estrangeiros tiveram passagem ou estiveram temporariamente fixados aqui, trabalhando em vários aspectos fisecológicos. Atualmente, fixa em Manaus, está Isolde D. K. Ferraz, preocupada com a propagação de plantas amazônicas essencialmente por meio de germinação.

Chega-se ao Ceará, e, em Fortaleza, encontra-se o primeiro grupo mais organizado deste transecto traçado. José Tarquínio Prisco (ex-estagiário de L. Labouriau, hoje já aposentado)

**Na década de 1970, a situação poderia ser resumida como: falta de tradição da pesquisa em fisiologia vegetal, falta de laboratórios equipados e raridade de pessoas bem treinadas na área**



## Na Bahia, Paulo Alvim não chegou a formar escola, de forma que atualmente a fisiologia vegetal é pouco desenvolvida naquele estado

desenvolveu várias pesquisas, no início sobre balanço hídrico, e depois de seu doutorado nos Estados Unidos, com estresse hídrico, especialmente em virtude da salinização. Teve forte interação com o grupo de bioquímica vegetal na UFCe, e hoje Enéas Gomes Filho, Joaquim Enéas Filho e Joaquim Albenízio G. da Silveira constituem o principal grupo de especialistas em fisiologia das condições adversas de plantas do Nordeste (estresse por falta de água e/ou excesso de sal). Também está em Fortaleza Luiz Gonzaga R. Ferreira, trabalhando na fisiologia das condições adversas e produtividade de plantas.

Indo mais para leste, encontra-se em Pernambuco, no Recife, Everardo V. S. B. Sampaio, interessado em ciclagem de nutrientes na caatinga e na mata com vegetação nativa e plantas cultivadas. Em Recife, ainda, há Dilosa C. A. Barbosa, pesquisando ecofisiologia de lenhosas, reprodução e germinação de plantas da caatinga.

Na Bahia, P. Alvim não chegou a formar escola, de forma que atualmente a fisiologia vegetal é pouco desenvolvida naquele estado. Na Embrapa, nos diferentes centros dessa região, não há fisiologistas que se destaquem, até porque, não estando ligados a universidades, não ajudam a formar pesquisadores na área.

No Centro-Oeste, destaque especial para Brasília. Não só pela UnB, da qual já se falou nos primórdios com L. Labouriau, mas porque há quatro centros da Embrapa, dois deles bem salientes: o Centro de Recursos Genéticos (Cenargen) e o Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças (CNPq), onde há fisiólogos ou investigadores intimamente ligados à fisiologia vegetal moderna, muito imbricada com a genética molecular e celular, na qual o Cenargen é centro de referência. Está em voga falar em biotecnologia, um conjunto de técnicas de manipulação de tecidos, células, cromossomos e genes, *in vitro* e *in vivo*, que permite

transformações e regeneração de plantas (e de outros seres vivos), em benefício da sociedade (mais exato seria dizer do capital, que apóia a utilização dessas tecnologias). Ora, a regeneração de plantas implica o desenvolvimento harmônico do vegetal, chegando pela sua ontogênese à fase de reprodução, o que é tipicamente área de fisiologia vegetal.

Na UnB, como fisiologista de expressão, sucedeu a Labouriau Linda S. Caldas, cientista norte-americana há muito radicada no Brasil, que teve larga experiência na iniciativa privada, justamente nos primórdios do uso da cultura de tecidos vegetais *in vitro*. Recentemente aposentada na UnB, continua a colaborar na pós-graduação naquela instituição, contando agora com a capacidade e o entusiasmo de Augusto C. Franco, que se ocupa mais de ecofisiologia, sendo especialista em fisiologia sob condições adversas, relações hídricas e fotossíntese. Há ainda em Brasília Fabian Borghetti, jovem pesquisador que herdou o Laboratório de Termobiologia muito bem equipado de Labouriau, na segunda fase deste na UnB. É bastante promissor e deverá, com A. Franco, caracterizar a escola de Brasília nos próximos decênios.

Devemos agora nos deslocar para o Sudeste, que como em todos (ou quase todos) os ramos da ciência é a região mais desenvolvida do país. A botânica contribui com cerca de 43% da produção nacional (5), sendo que se poderia estimar que cerca de 50%, no mínimo, da produção científica em fisiologia vegetal no país está nessa região.

No Rio de Janeiro, o maior destaque atual é para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

(UFRRJ), onde se encontra Joana Dobereiner, que não é fisiologista, mas que tem imensa importância na fitofisiologia pela natureza de seu trabalho com bactérias fixadoras de nitrogênio. Além dela, Manlio S. Fernandes, em nutrição e metabolismo vegetal, e Paulo Pimentel, em metabolismo do carbono, devem ser citados. Na UFRJ deve-se lembrar de Maria A. Esquibel, na fisiologia do desenvolvimento e culturas *in vitro*. Apesar da pujança da botânica no Rio de Janeiro, na fisiologia vegetal há poucos destaques.

Em Minas Gerais situa-se um dos centros de maior prestígio na comunidade nessa área. Não na capital, mas na Universidade Federal de Viçosa. Foi lá onde P. Alvim iniciou sua carreira, e onde até hoje atua Moacyr Maestri, cujo descortino, além da conjuntura favorável, favoreceu a reunião de vários fitofisiologistas que tiveram ou têm expressão na fisiologia vegetal brasileira. Alemar B. Rena (já aposentado), em metabolismo do

nitrogênio, Renato Sant'Anna, em nutrição e metabolismo, José Cambráia, no transporte de solutos, fisiologia de tolerância e deficiências de nutrientes minerais e de condições adversas, Raimundo S. Barros, em fisiologia de fitormônios, maturação e senescência, Rolf Pushmam na fisiologia de pós-colheita, Marco A. Oliva Cano, em ecofisiologia e relações hídricas, Paulo Mosquim, em nutrição mineral e metabolismo, são alguns daqueles que obtiveram destaque como profissionais altamente qualificados, quase todos com doutoramento no exterior.

Em Lavras, na UFLa, há um grupo que vem tendo destaque. Poder-se-ia mencionar Luiz Edson M. de Oliveira (nutrição, metabolismo e desenvolvimento de plantas em condições de estresse), José Donizeti Alves (estratégia das plantas em anoxia e seu metabolismo), Amauri A. de Alvarenga (crescimento de plantas sob estresse), Moacir Pasqual (desenvolvimento de plantas, culturas *in vitro*).

# SUDESTE

# EXP

Como nessas duas universidades do território mineiro há cursos de pós-graduação, o poder multiplicativo é marcante, e muitos dos fitofisiologistas jovens e promissores do país tiveram passagem, especialmente, por Viçosa.

Na Embrapa, talvez o nome mais destacado seja de Claudinei Andreoli, do CNPMS/Sete Lagoas, na fisiologia de sementes e de condições adversas. Em Uberlândia (UFU), outra jovem fisiologista vem ganhando destaque, Marli A. Ranal, especialmente por se preocupar em usar como modelo de seus estudos pteridófitas, e não angiospermas, como a maioria dos fitofisiólogos brasileiros.

Na USP, na capital, depois de Rawitscher e M. G. Ferri, dos quais já se falou nos primórdios, tiveram destaque Leopoldo Coutinho e Mariko Meguro, em questões de ecofisiologia, tendo ambos atuado no Departamento de Ecologia quando este foi criado no IB/SP. Na fisiologia do desenvolvimento lideram Walter Handro e Eny I. S. Floh (floração e sua regulação, cultura *in vitro* e transformações), Gilberto B. Kerbauy, assim

como a jovem Helenice Mercier, ambos atuando em fisiologia do desenvolvimento vegetal (fitormônios, regulação, culturas *in vitro*).

Na Esalq/USP, em Piracicaba, escola com longa tradição agrícola, encontram-se como maiores expoentes Paulo R. C. Castro (ecofisiologia da produção e fitormônios), Otto J. Crócomo (metabolismo, bioquímica vegetal e biologia molecular) e Luiz R. Angeloci (relações hídricas).

Em Campinas, na Unicamp, formou-se um dos mais fortes grupos de fisiologistas vegetais do Brasil na década de 1960. Houve a visão de separar-se a fisiologia vegetal da botânica. Aquela tipicamente experimental, com necessidades específicas de laboratórios, casas de vegetação e canteiros experimentais, em contraposição às demais áreas da botânica, que são descritivas e que, na forma como são desenvolvidas no país, raramente usam recurso de áreas de cultivo. Essa separação que, na época, a rigor, só existia em Viçosa, e pela visão de Zeferino Vaz em contratar uma série de jovens doutores recém-formados no exterior, proporcionou à Unicamp o estabelecimento de uma escola altamente produtiva. Antônio C. N. Magalhães, pupilo de Coaraci Franco, especialista em metabolismo de carbono e nitrogênio, teve marcante desempenho nessa área, particularmente pela elegância de seus experimentos e facilidade de expressão que a muitos cativavam. Logo a seguir, contrata-se Ladislav Sodek, que reforçou a área. Na parte de desenvolvimento vegetal, Ivany F. M. Válio e Gil Felipe (hoje aposentados), ambos com doutorado na Grã-Bretanha, mas ex-bolsistas de L. Labouriau, contribuíram para treinamento de vá-

rios pesquisadores no Brasil, especialmente em floração, germinação e controle da luz sobre o desenvolvimento. Nessa universidade, poder-se-ia ainda destacar Simone L. K. Shephard e Paulo Mazzafera. Graças à personalidade marcante de alguns desses pesquisadores, houve um certo isolacionismo em relação aos demais fitofisiologistas brasileiros, o que sem dúvida marcou a evolução dessa área na ciência brasileira. Aliás, de uma forma ou de outra, esse afastamento ocorreu com vários fitofisiologistas paulistas.

Na Unesp, onde há vários investigadores com boa formação, nos seus vários *campi*, esse comportamento de isolamento também é observável. Nessa universidade, por ser mais nova e por ter seguido mais ou menos o modelo da Unicamp, essa atitude foi seguida por muitos de seus professores. Ainda assim, merece destaque Massanori Takaki (ex-aluno de Sônia M. C. Dietrich), que desenvolveu seu doutorado na Inglaterra e hoje se preocupa com controle da luz e fitocromo no desenvolvimento das plantas, em Rio Claro, onde já se encontrava José A. P. V. Moraes,

preocupado com aspectos ecofisiológicos de plantas. Deve ser citado também João D. Rodrigues (Unesp/Botucatu), em ecofisiologia e regulação do crescimento. Sônia C. J. G. A. Perez salienta-se por seu empenho no estudo da germinação de sementes na UFSCar.

Como já foi visto naqueles que constituíram as raízes da fisiologia vegetal no Brasil, os institutos de pesquisa em São Paulo deram enorme contribuição e ainda prestam relevantes serviços nessa área. No Instituto de Botânica de São Paulo, Sônia M. C. Dietrich (já aposentada), que nos primórdios de sua carreira trabalhou com L. Labouriau, tendo se doutorado em bioquímica vegetal no Canadá, herdou em parte seu laboratório quando ele se mudou para Brasília. Ela formou uma equipe na qual se destacam Rita C. L. Figueiredo (fisiologia do acúmulo de polímeros em raízes), Lilian B. V. Zaidan (floração, crescimento e germinação de sementes), Angela M. Ladeira (germinação, alelopátia e princípios ativos em plantas), Márcia Braga (fitoalexinas) e o jovem e muito ativo bioquímico de plantas Marcos S. Buckeridge.

Hoje, no Instituto Biológico de São Paulo, na mesma linha de trabalho dos fitopatologistas e virologistas citados antes, tem-se Maria Mércia Barradas. No Instituto Agrônomo de Campinas, Eduardo Caruso Machado (ecofisiologia, fotossíntese e ecofisiologia da produção), Ana M. M. A. Lagoa (fisiologia das condições adversas e relações hídricas) são alguns dos nomes de destaque.

Seguindo em direção ao sul, no Paraná há poucos fisiologistas, sendo o mais conhecido Flávio Zanette (cultura de tecidos *in vitro* e ecofisiologia da produção). Em Santa Catarina, há um grupo promissor na UFSC, no qual Miguel P. Guerra é muito ativo na área de cultura *in vitro* e transformações em plantas.

No Rio Grande do Sul, há dois grupos com algum destaque. Em Porto Alegre, na UFRGS, no Departamento de Botânica, Alfredo Gui Ferreira, ex-bolsista de L. Labouriau e co-orientado no seu doutorado na USP por Walter Handro e Sônia M. C. Dietrich, trabalhando em culturas *in vitro* de tecidos vegetais, germinação de sementes e alelopátia; nestes dois últimos assuntos atua também Maria Estefânia

A. Aquila, ex-orientanda de Sônia M. C. Dietrich. Mais recentemente juntaram-se ao grupo Lúcia R. Dillenburg, com doutorado nos Estados Unidos, trabalhando agora em relações hídricas e fisiologia dos estados jovens de *Araucaria angustifolia*; e o casal Arthur G. Fett-Neto e Janette P. Fett, em metabolismo secundário e regulação da expressão gênica, esses dois com doutorado no Canadá.

Finalmente, nossa transecta finda em Pelotas, onde José A. Peters (já aposentado) trabalhou com culturas de tecidos vegetais e transformações e onde hoje está Nei F. Lopes (aposentado em Viçosa) ativo na UFPel, em fisiologia da produção e fotossíntese, assim como o jovem Marcos A. Baccarin, da mesma especialidade.

#### PERSPECTIVAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seja porque o país é pobre em recursos financeiros, seja porque falta mais tradição, os fisiologistas de laboratório são em bem menor número do que aqueles mais voltados à ecofisiologia, que muitas vezes requer equipamentos menos

**Os institutos de pesquisa em São Paulo deram enorme contribuição e ainda prestam relevantes serviços nesta área**

sofisticados e/ou baratos. Hoje, no entanto, com o avanço da biotecnologia (*lato sensu* cultura de tecidos vegetais, seqüenciamentos gênicos e sua transformação vegetal), cresce a fisiologia vegetal de forma acelerada nessa direção, seguindo as tendências mundiais. Pelo noviciado no país, por um lado e, por outro, pela formação dos profissionais que estão na área vindos em parte da bioquímica, farmácia, microbiologia, com pouca formação (ou nenhuma) na fisiologia de plantas, há um hiato, no qual transformações são obtidas, mas poucos conseguem a regeneração de plantas e seu uso para fins econômicos.

Numa certa medida, está havendo um distanciamento entre essa nova tendência da fisiologia vegetal voltada para a biologia molecular e com íntimas relações com a genética e a bioquímica e os fisiólogos vegetais mais clássicos, que usavam (e ainda usam) experimentação em campo (casa de vegetação e/ou canteiros). Dentre os fisiologistas que trabalham próximos da interface com a ecologia (ecofisiologia), isso é menos notório, mesmo porque a realidade do local onde desenvolvem seus estudos (solos, pluviosidade e regime de precipitações) pode ser diferente de outra, no país ou exterior. Porém, com aqueles que estão voltados para a biologia molecular, as condições de laboratório são mais constantes e principalmente as metas são mais transnacionais. No momento das publicações, há comparações com a literatura internacional, e a aceitação de manuscritos pelos periódicos no exterior tem de estar alinhada dentro dessa tendência mundial. Isso leva muitas vezes a uma dissociação entre a realidade brasileira, espe-

cialmente dos requerimentos técnicos e sociais em que a sociedade brasileira se encontra e dos quais necessita, e os distantes anseios do mundo desenvolvido. Esse fato, que é comum em várias áreas da ciência e da tecnologia brasileira, também é apreciável na fisiologia vegetal.

Por outro lado, os estudos multidisciplinares, que seriam desejáveis, vêm-se prejudicados pela escassez de recursos, o que faz com que as disputas entre os cientistas aumentem, cada um procurando tirar o máximo proveito e acesso aos escassos recursos, prejudicando as ações coletivas e de educação, que “premium” em menor intensidade. Essa distorção social tem afetado nossas instituições científicas e tecnológicas e, perdurando tal situação, muito provavelmente o distanciamento com o mundo desenvolvido só aumentará.

O futuro da ciência no Brasil depende muito, sem dúvida, do governo, mas requer também a ação decidida dos cientistas, como participantes dos trabalhos que objetivem traçar políticas de ciência para o Brasil e seus estados. A preparação dos cientistas nas universidades deve contemplar o aspecto acima referido. Pouco contribuirá, na atual fase por que passa todo o mundo, de rápidas transformações sociais e políticas, criar cientistas fechados, isolados, ensimesmados. Precisamos de cientistas participantes (6).

O treinamento de recursos humanos na atualidade não tem, na maior parte dos laboratórios, conotação de formá-los e de educá-los, mas de usá-los como mão-de-obra especializada que produz dados para que os cientistas do topo possam manter sua produtividade internacional. Há, infelizmente, uma

espécie de pensamento de que “outros” (menos qualificados!) é que devem adaptar as descobertas científicas para que o povo possa usufruir dos avanços e do conhecimento. E, hoje, não é menos verdade o que expressava, em 1922, Arthur Neiva: “No Brasil não é em geral o povo que está atrasado, mas sim as classes dirigentes” (7).

Comportamentos que visem à formação dos pesquisadores e dos educadores, aumentando suas inquietações e interrogações, são hoje mais pontuais. Neiva e Rocha Lima (*apud* 8) davam ênfase à comunicação, utilizada tanto como instrumento de aperfeiçoamento científico e integração interna do seu instituto, quanto a deste com a comunidade a que servia e pela qual era mantido. Além de publicações em revistas, panfletos e obras especializadas, sobre determinados temas, havia o *referat*, nas terças-feiras, quando cada pesquisador tinha a responsabilidade de relatar para os outros um artigo recente selecionado nas revistas de biblioteca. Nesse processo, aprendia a identificar o artigo relevante,

tista só poderia se formar se existisse um "espírito universitário".

Essa prática não é usual. No laboratório de L. Labouriau isso acontecia. S. Dietrich manteve essa atividade no Instituto de Botânica de São Paulo. A. G. Ferreira, como discípulo de Labouriau, mantém essa atividade em seu laboratório. Em outros locais organizam-se seminários ocasionais ou como disciplina de pós-graduação, mas nesse caso, em geral, a integração não é alcançada pela obrigatoriedade da atividade da disciplina pelos discentes (tem de haver livre engajamento). De qualquer forma, essas são atividades que deveriam acontecer em todos os grupos mais ou menos organizados. Isso dá trabalho, pois difere da atividade que muitos julgam ser a única importante: obter dados para publicação e aumento do seu currículo.

Embora haja desvios, caminhos tortuosos alongando a caminhada, a fisiologia vegetal brasileira progrediu muito. Não sei se propriamente em qualidade, mas o número de fitofisiólogos em atividade cresceu, e isso é medido por publicações no Brasil e no exterior. As dificuldades financeiras, oxalá se-

jam passageiras, e que o país retome a sua caminhada para o progresso com justiça social. Afinal, é virtualmente impossível lograr um desenvolvimento econômico estável, seguro e vantajoso (para a nação) sem um fluxo crescente de informações científicas (e tecnológicas) (9). E, para encerrar, transcreve-se o que A. Neiva declarou na década de 1920: "Quando o Brasil se dispuser a entregar à ciência a resolução dos seus problemas econômicos, de preferência ao modo atual de solucionar questões a golpes de leis e regulamentos... então a nossa pátria dará ao mundo o exemplo de um progredir com celeridade sem precedentes, ao utilizar-se das riquezas e do infinito de possibilidades que, em potencial, existem no imenso território do Brasil" (7). \*

#### Alfredo Gui Ferreira

Professor titular do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Licenciado em História Natural (1964) e mestre em Botânica (1973) na UFRGS, doutor em Ciências pela USP, pós-doutorado em cultura de embriões vegetais *in vitro* no William Patterson College, Wayne, NJ, EUA.

a expô-lo e a discuti-lo, etapas importantes do trabalho científico. Às sextas-feiras, o sistema era diferente: eram realizadas conferências sobre temas científicos, artísticos ou literários, por pesquisadores do instituto ou convidados. A amplitude do tema era determinada pela concepção partilhada por Neiva e Rocha Lima de que o cientista deveria ter uma formação global, não se limitando apenas a assuntos ligados a seu trabalho, mas cobrindo outros campos do conhecimento humano. Esse cien-

## referências bibliográficas

- (1) FERRI, M. G. 1955. "A botânica no Brasil". Em AZEVEDO, F. (ed.). *As ciências no Brasil*. V. II. Melhoramentos, p. 149-200.
- (2) FERRI, M. G. 1980. "História da botânica no Brasil". Em FERRI, M. G., MOTOYAMA, S. (orgs.). *História das ciências no Brasil*. São Paulo: EPU, p. 31-88.
- (3) HANDRO, W. 1996. Luiz Fernando Gouvea Labouriau (1921-1996). R. Bras. Fisiol. Veg. Londrina, 8 (2): 77-79.
- (4) LABOURIAU, L. F. G. 1963. Problemas da fisiologia ecológica dos cerrados. Em *I Simpósio sobre o Cerrado*. São Paulo: Edusp, p. 235-276.
- (5) FERREIRA, A. G. 1990. Radiografia de seis anos da botânica brasileira. *Cien. & Cult.*, 42 (12): 1136-1143.
- (6) REIS, J. 1975. História da ciência no Brasil. *Cien. & Cult.*, 27 (10): 1096-1099.
- (7) NEIVA, A. 1989. *Esboço histórico sobre a botânica e a zoologia no Brasil*. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 44 p.
- (8) SCHWARTZMAN, S. *Formação da comunidade científica no Brasil*. Rio de Janeiro: Nacional, 1979.
- (9) LABOURIAU, L. F. G. 1969. La investigación científica en condiciones de subdesarrollo. *Acta Cient. Venezolana*, v. 20, p. 149-150.

E T CA IO C OLO IA  
GE ÉTI BIO E NOL GI  
EN TICA E BI TE N LOG A  
GE É ICA BI TECN LOGI  
G NÉT C E BIOTE NOLOGI  
E ÉTICA E IOTEC OL GIA  
GENÉ ICA E B OTE N L GIA  
GE É ICA B O EC L GIA  
GEN TICA E BIOT CNOLOGIA  
GE ÉTICA BIOT NOLOGIA  
GENÉTICA E OTECNOLOGIA  
GENÉTICA E BIOTE NOLOGI  
GEN TICA E BIO ECNO OGIA  
GENÉ ICA E IOTEC OL GIA  
G NÉTICA BI TECNO OGIA  
ENÉTI A E BIOTECNOLOG A  
GENÉTICA E BIOTE NO OGIA  
GE ÉTICA E BIO ECNOLOGI  
GENÉT CA E BIOT CNOLOGIA  
G NÉTICA BIOTECNOLOGIA  
GENÉTICA E BIOTECNOLOGIA  
GENÉTICA E BIOTECNOL GIA  
GENÉTICA E BIOTECNOLOGIA  
GENÉTICA E BIOTECNOLOGIA  
**GENÉTICA E BIOTECNOLOGIA**

# NA AGRICULTURA

---

João Lúcio de Azevedo



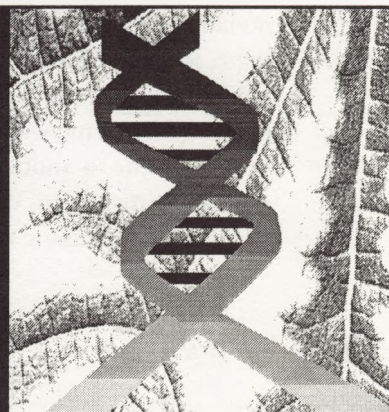
**E**stima-se que a espécie humana tenha surgido há cerca de 1,5 a 2 milhões de anos. Era uma espécie que corria o risco de ser extinta competindo com as demais. Foi só há aproximadamente 10 mil anos que, com a descoberta da agricultura e com a domesticação de plantas e animais, ela, representada por um número pequeno de indivíduos comparado com o atual, se libertou das incertezas na busca de alimentos e garantiu sua presença e sua expansão no planeta. As taxas de crescimento da população humana fizeram com que o reverendo Malthus, em 1798, previsse que o aumento da população em escala geométrica e o dos alimentos em escala aritmética levaria, em futuro próximo, a uma escassez de alimentos e à fome catastrófica. Felizmente isso não aconteceu, graças ao desenvolvimento da ciência agrônoma. Enquanto pelo pastoreio são necessários 25 ha para alimentar uma pessoa, a agricultura de arado

elevou esse número para 750, e a agricultura praticada em 1950 para 2 mil pessoas. Atualmente, estima-se que 3 mil pessoas possam ser alimentadas por uma agricultura moderna, utilizando-se a mesma área de 25 ha. Uma das ciências que mais contribuiu com esse progresso foi a genética, pelo desenvolvimento de variedades melhoradas, mais produtivas e resistentes às condições adversas do ambiente (9).

A genética, a ciência da hereditariedade, nasceu com o trabalho de Mendel realizado em um vegetal, a ervilha, em 1866. Foi assim explicado pela primeira vez como ocorre a transmissão de características genéticas de ascendentes para descendentes. Levou mais de trinta anos para que as leis mendelianas fossem amplamente divulgadas, sendo o ano de 1900 considerado o do início efetivo da genética quando, independentemente, Correns, De Vries e Tschermack redescobriram os princípios da hereditariedade estabelecidos no clássico trabalho de Mendel.

Daí para frente, a genética apresentou um notável desenvolvimento dentro das ciências biológicas, influenciando várias áreas do conhecimento, tanto básicas como aplicadas.

Com a constatação de que um ácido nucléico, o ácido desoxirribonucleico ou abreviadamente DNA, era o material que continha as informações genéticas, ficou mais bem entendido o processo de como o DNA codificava informações que determinavam as características hereditárias dos seres vivos. Começou a ser possível a manipulação dos genes, produzindo-se células e organismos com novas propriedades. No início dos anos 1970, a engenharia genética abriu possibilidades anteriormente inimagináveis. Embora os impactos possam ser sentidos em todas as áreas, na agricultura eles têm sido notáveis, com produção de plantas transgênicas capazes de resistir a pragas e a doenças, com propriedades que facilitam o transporte de frutos e capazes de produzir



influenciar, além de outras atividades, a agricultura.

O que se pretende no presente artigo é, em primeiro lugar, historiar o desenvolvimento da genética brasileira e o papel que ela desempenhou na nossa agricultura e na biotecnologia agrícola para, em seguida, passar a examinar o estado da arte da genética e da biotecnologia na agricultura do país e do mundo, terminando com uma rápida visão do que o futuro pode oferecer. Por razões de espaço, no presente artigo, quando se mencionar genética e biotecnologia na área de ciências agrárias, apenas aspectos relacionados aos vegetais e aos microorganismos de interesse na agricultura serão abordados.

A vasta área de genética e biotecnologia aplicada aos animais domésticos não está aqui incluída, embora avanços significativos devidos à genética tenham sido também conseguidos.

#### **O DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA GENÉTICA BRASILEIRA NA ÁREA AGRÍCOLA**

A evolução das pesquisas em ciências agrárias no Brasil sempre acompanhou o desenvolvimento do ensino agrícola brasileiro. O ensino das práticas agrícolas iniciou-se no Brasil, no século XVIII, com a criação de academias que incluíam estudos de agricultura. O surgimento dos hortos reais foi decisivo para a criação do ensino agrícola superior no Brasil e, conseqüentemente, da pesquisa agrônômica. A primeira escola superior de agricultura, a de São Bento das Lages, na Bahia, foi fundada em 1877. Apesar de permanecer fechada por um bom tempo, suas atividades foram reiniciadas neste século, depois de terem sido criadas as escolas de

substâncias de interesse econômico. A engenharia genética ou tecnologia do DNA recombinante fez com que a biotecnologia adquirisse nova roupagem, em que técnicas modernas puderam ser aplicadas no desenvolvimento de processos e produtos de valia para as áreas da saúde, energética e, também, para a área agrícola.

A biotecnologia, por sua vez, não é, como pode parecer, um termo recente. Ela é a junção das palavras "bio" (de biologia, usada pela primeira vez em 1802 por Treviranus) e "tecnologia", palavra já usada por Cícero e Plutarco. O termo apareceu por volta de 1960 com o desenvolvimento moderno das fermentações industriais, especialmente relacionado à produção de antibióticos. De fato, a revista *Biotechnology and Bioengineering* teve seu primeiro número lançado em 1962 (11). Entretanto, foi com o desenvolvimento das novas e poderosas técnicas de engenharia genética mencionadas anteriormente que a moderna biotecnologia prosperou e que seus produtos e processos começaram a

agricultura de Pelotas, no Rio Grande do Sul, em 1891, a de Piracicaba, hoje Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), em 1901, e a de Lavras, em Minas Gerais, no ano de 1908. Em 1929, já existiam cerca de vinte escolas superiores em ciências agrárias no Brasil, e nos anos 1960 ocorreu uma verdadeira proliferação de escolas de agronomia por todo o país. Foi também nessa década que surgiram os primeiros cursos de pós-graduação, primeiramente em nível de mestrado, na

ria (Embrapa), em 1973. Em algumas poucas ocasiões, a iniciativa privada também organizou centros de pesquisa, como é o caso da Copersucar, dedicada às pesquisas em cana-de-açúcar, e a Fundecitrus, englobando pesquisas com plantas cítricas. Essa estrutura de ensino e pesquisa tem gerado processos e produtos que contribuíram substancialmente para o aumento da produtividade e para a geração de tecnologias adaptadas às diferentes regiões do país (1,2).

Como não poderia deixar de ser, a genética teve um papel essencial no desenvolvimento desses processos e produtos. Embora, como visto antes, redescoberta no início do século, essa área do conhecimento levou um certo tempo para se estabelecer no Brasil. O marco decisivo para sua implantação ocorreu com a criação da Universidade de São Paulo (USP), juntamente com o alto nível das pesquisas praticadas no Instituto Agrônomo de Campinas, onde Carlos Arnaldo Krug, desde 1932, havia iniciado programas de melhoramento de milho, café, algodão e outras culturas (4). É verdade que, antes de surgir a USP, a Esalq, desde 1918, isto é, apenas dezoito anos após a redescoberta das leis de Mendel, foi o primeiro

local do país onde se lecionou genética nas então cadeiras de agricultura e de zootecnia (10). Mas com a criação da USP, entre os vários professores do exterior contratados, a Esalq recebeu em 1936 o professor Friedrich Gustav Brieger, proveniente da Alemanha e que havia sido aluno do professor Correns, um dos redescobridores das leis de Mendel, e com ele completado seu PhD. Houve um entrosamento bastante profícuo entre F. G. Brieger na Esalq/USP com Krug, chefe da recém-criada seção de genética do IAC. Também em colaboração com Iwar Beckman, no Rio Grande do Sul, eles criaram a primeira linha de pesquisa em genética no Brasil, a genética agrícola (10). Mais ainda, em colaboração com André Dreyfus, chefe do Departamento de Biologia Geral da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, Brieger, Krug e Dreyfus podem ser considerados os fundadores da genética no Brasil. Como cita Brieger: “Nós três estabelecemos ótima amizade e uma ótima atmosfera. Nós mesmos nos criticávamos e nos defendíamos dos outros. Nós três tínhamos a idéia de não só trabalhar em métodos fundamentais e aplicados, como também formar discípulos” (10). Graças a essa íntima colaboração, logo após a fundação

Escola Superior de Agricultura de Viçosa, em Minas Gerais, e depois em nível de doutorado, na Esalq/USP. Juntamente com os primeiros passos na formação de recursos humanos e em investigações científicas em agricultura nas escolas de agronomia, a pesquisa também foi desenvolvida em institutos. Uma das instituições pioneiras foi o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com suas atividades iniciadas em 1887. Em 1927, foi criado o Instituto Biológico de São Paulo, inicialmente voltado quase que inteiramente para o estudo de problemas agrícolas relacionados ao café (1, 2, 10).

Entre 1940 e 1960, surgiram institutos de pesquisa em outros estados vinculados às respectivas secretarias de agricultura ou diretamente ao Ministério da Agricultura. Nos anos 1970, foram criados outros institutos destinados a pesquisar aspectos da agricultura, entre eles o Instituto Agrônomo do Paraná, em 1972, e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

# GENÉTICA

da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, em 1948, os poucos geneticistas do Brasil começaram a se reunir ocasionalmente, surgindo, então, a idéia da criação de uma Sociedade Brasileira de Genética. O professor Brieger foi indicado como presidente provisório dessa sociedade, que só veio a ser fundada oficialmente em 4 de julho de 1955, na cidade de Campinas, no Estado de São Paulo. A ata de fundação da Sociedade Brasileira de Genética (SBG) inclui a frase: "A Sociedade Brasileira de Genética é uma sociedade que congrega todas as pessoas interessadas em assuntos relacionados à genética" (13). No dia da fundação, Brieger passou a presidência provisória à nova diretoria eleita por aclamação, tendo como presidente Krug, do Instituto Agromômico de Campinas, e, como secretário, Warwick Estevam Kerr,

## CRESCIMENTO

então professor da Esalq em Piracicaba. Ficava evidente o forte componente agrícola dado à genética brasileira na época. Assinaram a ata de fundação 22 sócios fundadores, entre eles o professor britânico R. A. Fisher, Pai da Biometria, que estava em visita ao Brasil naquela ocasião (13). Daí para frente, a SBG teve um papel muito importante no desenvolvimento da genética brasileira. Suas reuniões anuais foram realizadas em conjunção com as da SBPC durante mais de trinta anos, tendo depois de ser feitas separadamente em razão do aumento crescente do número da participantes. A última reunião, ocorrida em Goiânia, reuniu cerca de 2 mil geneticistas.

As atividades organizadas pela SBG não se restringiram aos seus congressos anuais, mas englobaram sempre diversos trabalhos de genética e melhoramento de plantas e microorganismos de interesse agrícola. Ela teve papel ativo unindo-se à SBPC e a outras sociedades científicas nos difíceis anos da ditadura militar. Mesmo assim, nessa época, conseguiu financiamentos para desenvolver as várias especialidades da genética brasileira, incluindo modalidades relacionadas à agricultura, por meio do Programa Integrado de Genética, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Esse programa, iniciado em meados dos anos 1970 e que perdurou até o final da década de 1980, foi responsável pela formação de novos grupos de pesquisa em genética no Brasil e pela formação de recursos humanos, incluindo evidentemente projetos nas áreas de genética vegetal e melhoramento de plantas e microorganismos relacionados às ciências agrárias. Foi também dentro da SBG que surgiu a primeira revista brasileira de impacto na área de ciências da vida – a *Revista Bra-*

**A SBG teve papel ativo unindo-se à SBPC e a outras sociedades científicas nos difíceis anos da ditadura militar**

*sileira de Genética*. Criada em 1977, teve seu título modificado para *Brazilian Journal of Genetics*, e hoje é a revista *Genetics and Molecular Biology*, que tem tido um grande aspecto positivo ao divulgar trabalhos de genética, inclusive aqueles ligados às ciências agrárias. Foi no começo dos anos 1970 que se iniciaram, sempre sob a promoção da SBG, reuniões mais específicas relacionadas às diversas especialidades da genética. Destaque deve ser dado às Reuniões de Genética de Microorganismos, iniciadas na Esalq/USP, em Piracicaba, que dedicavam especial atenção a microorganismos de interesse agrícola, como os envolvidos na fixação biológica do nitrogênio atmosférico, controle de pragas e doenças de plantas cultivadas, e a microorganismos de interesse agroindustrial. A princípio anuais, e atualmente realizadas a cada dois anos em diferentes locais do país, as Reuniões já estão em sua versão de número 22.

A genética brasileira era extremamente competitiva internacionalmente em todas as suas especialidades. Com o advento das modernas tecnologias conhecidas pelas designações gerais de engenharia genética e tecnologia do DNA recombinante, ela começou a apresentar uma defasagem mundial. Isso só foi realmente constatado nos anos 1980. Em uma reunião histórica realizada em Águas de Lindóia, Estado de São Paulo, sob o título de “Desempenho e Rumos da Genética Brasileira” (12), começou a ficar claro que a genética no Brasil estava perdendo sua privilegiada posição internacional. Vários fatores contribuíram para essa defasagem, tais como a necessidade de se possuir equipamentos sofisticados de difícil manutenção e de renovação cons-

tante para se fazer uma pesquisa genética competitiva em padrões internacionais. Havia também dificuldade de obtenção de insumos só produzidos no exterior, em função de um sistema arcaico e caótico de importação. A pouca integração com grupos de outras áreas, como bioquímica e biologia molecular, fez com que esses grupos passassem a preencher as lacunas deixadas pela genética.

Especialmente na genética e no melhoramento genético vegetal, os geneticistas brasileiros, acostumados a trabalhar com a metodologia tradicional, não conseguiram acompanhar o ritmo alucinante de desenvolvimento da genética mundial. De fato, a própria biotecnologia foi implantada no país com atraso. Posso relatar uma série de fatos que tive oportunidade de acompanhar de perto quando docente da Universidade de Brasília.

Antes da década de 1980, várias sociedades científicas e cientistas brasileiros individualmente enviaram aos órgãos de financiamento um alerta para que fosse apoiado um programa de engenharia genética no Brasil, tendo em vista os importantes impactos que dele resultariam. O alerta só foi levado em consideração após uma visita do então presidente da República João Batista Figueiredo à França, quando, em contato com autoridades daquele país envolvidas em Ciência e Tecnologia, lhe foi perguntado como andavam as pesquisas em engenharia genética no Brasil, que, na realidade, ainda não andavam. Na volta do presidente Figueiredo ao Brasil, o presidente do CNPq foi cobrado sobre a conveniência de fazer algo para desenvolver essas tecnologias no Brasil, em razão de sua importância estratégica. Foi organizada pelo

CNPq uma comissão de pesquisadores, da qual fiz parte, para levar a idéia à Finep no Rio de Janeiro, objetivando a instalação de um programa conjunto de engenharia genética. A princípio, talvez em função da dificuldade que em geral tem o pesquisador brasileiro em comunicar uma idéia a alguém leigo no assunto – como era na época o presidente da Finep –, a solicitação não foi bem entendida. Durante a reunião, entretanto, alguém salientou que a

engenharia genética não iria ser feita pelo simples prazer de desenvolver uma nova área básica, mas que essa tecnologia seria usada para resolver problemas de natureza aplicada importantes para o Brasil. Entre eles, foram levantados aspectos agrícolas, como o desenvolvimento de novas variedades de plantas cultivadas e o valor, para o Pró-álcool, da produção em potencial de microorganismos de interesse na produção de etanol. Em síntese, uma vez esclarecido que as novas tecnologias eram ferramentas valiosas para o desenvolvimento da moderna biotecnologia, a idéia foi aceita. De novo a mola propulsora para a instalação do subprograma de engenharia genética no país deu-se, em parte, pela sua importância para a genética e o melhoramento genético na agricultura e na agroindústria. Embora tímido do ponto de vista financeiro, ele permitiu a instalação de alguns grupos que desenvolveram insumos importantes para que algumas tecnologias fossem implantadas no Brasil. O mais relevante foi que a biotecnologia estava definitivamente instalada, embora, é verdade, com atraso. O Programa Nacional de Bio-

tecnologia (Pronab) foi instituído em 1981 e, em seguida, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico na área de Biotecnologia (PADCT-Biotecnologia), em 1984, que contou com recursos do Banco Mundial (8).

Em todos os casos foram considerados incluídos nesses programas aspectos que envolviam a genética de plantas e de microorganismos de importância para as ciências agrárias. Infelizmente, tais programas não foram, até mesmo em razão da forte pressão de muitos pesquisadores brasileiros, dirigidos para a obtenção de certos produtos e processos de valor biotecnológico. Prevaleceu a idéia de que o pesquisador tem de ser livre e a pesquisa não poderia ser dirigida. Tudo isso resultou em uma pulverização de recursos que não levou a produtos e a processos de valor econômico, que constituem a finalidade da biotecnologia. Outros países, como Cuba, que optaram pela alternativa de se concentrar

em alguns poucos produtos, conseguiram seu intento.

Não cabe aqui salientar os erros na implantação da biotecnologia no país, que foram vários além do citado, e que poderiam ser objeto de outro artigo. O fato é que a área de genética na agricultura foi também afetada. É verdade que outras iniciativas ocorreram envolvendo a genética e a biotecnologia agrícola. Por exemplo, a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) desenvolveu, no Centro Nacional de Recursos Genéticos (Cenargen), em Brasília, um enorme projeto baseado no melhoramento genético, por técnicas modernas, de um feijoeiro com produção de feijão rico em certos aminoácidos no qual ele é deficiente, como, por exemplo, metionina. O projeto mostrou-se tecnicamente inadequado para a época, e os resultados prometidos, para um período muito curto de tempo, até hoje não se concretizaram. Isso fez com que se gerasse



**Ainda há um caminho a  
percorrer para que a  
biotecnologia possa ser  
definitivamente  
consolidada e tornar-se  
competitiva  
internacionalmente**

um certo descrédito com relação a outras iniciativas dentro da biotecnologia, tanto entre as agências de fomento como entre os próprios pesquisadores da área de melhoramento vegetal. Entretanto, um aspecto positivo do projeto da Embrapa, como dos próprios programas tipo Pronab e PADCT, foi a produção de recursos humanos em engenharia genética e biotecnologia. Aliados a outros programas, como o Recursos Humanos em Áreas Estratégicas-Biotecnologia (RHAE-Biotecnologia), financiado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia por intermédio do CNPq, o Brasil pôde contar com um contingente de pessoal que, embora pequeno em quantidade, se mostrou qualitativamente bom,

dominando as principais tecnologias empregadas na moderna biotecnologia, incluindo seus aspectos agrícolas. Iniciativas independentes, como a série de cursos denominados de "Fundamentos de Biotecnologia", iniciados em 1982 com o auxílio da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (Capes), na Universidade de Brasília, e que já foram ministrados em vários estados brasileiros, conseguiram treinar quase um milhão de interessados. Esses cursos foram responsáveis pela integração de diferentes pesquisadores de universidades, institutos de pesquisa e empresas privadas, gerando projetos que, pela primeira vez no Brasil, estão chegando a produtos comerciais.

Empresas de biotecnologia também surgiram na área vegetal, duas delas bastante significativas em investimentos e número de pessoal envolvido, como a Bioplanta, instalada em 1985 nas proximidades de Campinas, e a Biomatrix, efetivamente instalada em 1986 em Teresópolis, Estado do Rio de Janeiro. Infelizmente, elas não suportaram as condições vigentes na época. A falta de um sistema de proteção da propriedade industrial, as condições da economia brasileira, com uma forte inflação agravada na época do governo Collor pelo confisco de depósitos bancários, e a alta segregação existente contra empresas multinacionais fizeram com que a Bioplanta, por exemplo, apesar de ter um quadro de pesquisadores do mais alto gabarito, encerrasse suas atividades. Mesmo assim, ela desenvolveu processos e produtos de biotecnologia vegetal que hoje, levados pelos seus ex-pesquisadores para institutos de pesquisa, universidades ou pequenas empresas priva-

das, atingiram o consumidor brasileiro. Importante foi também a criação da Associação Brasileira de Empresas de Biotecnologia (Abrabi), em 1986, que realizou três eventos no Brasil sobre biotecnologia, tendo sido abordados em todos eles assuntos relacionados à biotecnologia agrícola. Em 1993, ela contava com 23 empresas ligadas à agricultura (8). Também na época surgiu uma Sociedade Brasileira de Biotecnologia que, infelizmente, ainda não deslanchou.

De modo geral, portanto, a biotecnologia, incluindo a agrícola, teve de ser entendida aos poucos, e há ainda um caminho a percorrer para que ela possa ser definitivamente consolidada e tornar-se competitiva internacionalmente. Felizmente, na área agrícola, que possui um caráter regional, produtos e processos já vinham sendo obtidos antes da introdução das modernas tecnologias de DNA recombinante. A genética brasileira foi eficiente em produzir novas variedades de plantas adaptadas ao nosso mercado e a países de clima tropical. As instituições envolvidas em pesquisas em genética agrária têm dado retornos muito superiores aos investimentos recebidos. Vale a pena mencionar alguns poucos exemplos dos muitos existentes (1, 2, 7). Variedades e híbridos de milho e hortaliças foram e são usados em larga escala pelos agricultores brasileiros e pelos consumidores. Novas variedades de soja e feijão, variedades melhoradas de trigo e arroz, variedades híbridas de café e muitas outras culturas de interesse agrônômico foram melhoradas por técnicas convencionais em laboratórios e campos experimentais e incorporaram-se à agricultura brasileira. Exemplo marcante foi o conseguido pelo dr. Alcides

Carvalho, da Seção de Genética do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que, prevendo a introdução mais cedo ou mais tarde do fungo causador da doença conhecida como "ferrugem do café", melhorou as variedades de cafeeiro então suscetíveis, conseguindo variedades resistentes que já estavam disponíveis no Brasil quando a doença, proveniente da África, foi introduzida. Essa pesquisa em melhoramento vegetal salvou, na época, a cafeicultura brasileira, estimando-se um retorno de milhões de dólares ao país, possivelmente junto com outras variedades de café produzidas pelo IAC, suficientes para devolver todos os investimentos feitos pelo governo paulista naquele instituto de pesquisa, desde sua criação. Os resultados de setenta anos de pesquisas em citrus no IAC incluindo o uso da genética levaram o Brasil a

ser o maior produtor de citrus do mundo e também o primeiro na exportação de sucos concentrados. Estima-se que foram criados 400 mil empregos no setor, o dobro gerado por todas as montadoras de veículos instaladas no país (14). A maioria dos citrus em plantios comerciais existentes no Estado de São Paulo provém dos trabalhos de melhoramento genético realizados no IAC (5). Também foram produzidos, por seleção e melhoramento genético, microorganismos de interesse agrícola relacionados à fixação biológica do nitrogênio atmosférico e ao controle biológico de pragas agrícolas de grande valor aplicado, permitindo redução do uso de fertilizantes e de inseticidas, respectivamente.

Esses são apenas alguns exemplos da contribuição dos geneticistas brasileiros para o desenvolvimento da agricultura no país. Embora nem sempre, especialmente após a introdução de modernas tecnologias na pesquisa genética, o Brasil se tenha mantido atualizado, sem dúvida a contribuição da genética agrária, iniciada em meados dos anos 1930, foi bastante efetiva. Aspectos atuais da genética na agricultura e o que o futuro nos apresenta vão ser objeto dos itens finais do presente artigo.

#### **A SITUAÇÃO ATUAL DA GENÉTICA E DA BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA**

Atualmente, a genética e a biotecnologia agrícola já absorveram as modernas tecnologias e utilizam-nas na resolução de problemas de interesse acadêmico e aplicado. Processos tradicionais de melhoramento continuam a ser usados, mas aos poucos eles estão absorvendo novas tecnologias, como as

de cultura de tecidos vegetais, fusão de protoplastos, marcadores moleculares e transferência de genes na geração de plantas transgênicas. O uso de marcadores moleculares, especialmente, tem permitido avanços consideráveis nas áreas de genética quantitativa e de populações, além de avaliação da biodiversidade. Do ponto de vista aplicado, a moderna biotecnologia tem propiciado avanços nas áreas de melhoramento genético, fitossanidade e proteção ambiental. Apenas para citar alguns exemplos, técnicas relacionadas a marcadores moleculares conhecidas por siglas, como RFLP (polimorfismo no comprimento de fragmentos de restrição), RAPD (polimorfismo do DNA amplificado ao acaso), AFLP (polimorfismo no comprimento de fragmentos amplificados) e outras, têm permitido a localização de agregados de genes, os chamados QTL (locos ou genes de caracteres quantitativos). Estes são de importância para o melhoramento de características quantitativas em plantas como, por exemplo, maior produção e resistência a condições de estresse, tornando o melhoramento genético muito menos empírico. Os mesmos marcadores moleculares são usados em bancos de germoplasma, detectando plantas iguais ou semelhantes e diminuindo, portanto, duplicações desnecessárias. São também usados em programas de melhoramento na escolha de linhagens ou variedades a serem empregadas em cruzamentos e em muitos outros casos.

As técnicas de cultura de tecidos vegetais, fusão de protoplastos e tecnologia do DNA recombinante foram definitivamente incorporadas aos processos tradicionais de melhoramento genético de plantas

cultivadas e de microorganismos de interesse agrícola. Recentemente, no último congresso internacional de genética, realizado em agosto de 1998, em Pequim, China, vários trabalhos unindo processos clássicos e moleculares foram apresentados. Destaque pode ser dado às pesquisas com o superarroz híbrido, realizadas na China. Esse híbrido produz cerca de 12 toneladas por hectare, um aumento de 50% em relação aos anteriormente cultivados.

Do ponto de vista de fitossanidade e de melhoramento de outras características de valor agrônômico, modernas técnicas de genética e biotecnologia têm permitido o desenvolvimento de *kits* de diagnóstico para detecção de doenças de plantas, especialmente as causadas por vírus. Embora essas tecnologias já estejam disponíveis desde 1971, o primeiro produto de valor comercial apareceu em 1991, constituído por um fumo resistente a vírus, produzido na China, que propiciou um aumento de 5% a 7% na produção. Em 1994, o segundo produto comercial, um tomate com tempo maior de maturação, o que permite sua estocagem por mais tempo, começou a ser comercializado nos Estados Unidos. Surgiram em seguida plantas transgênicas resistentes a herbicidas e a doenças causadas por insetos. Atualmente, são plantados 12,8 milhões de hectares no mundo com plantas transgênicas. O aumento anual é de cerca de 4,5 vezes de área plantada, sendo os Estados Unidos o líder mundial nesse particular. Plantas cultivadas contendo genes de resistência a herbicidas ocupam 63% da área total de plantas transgênicas, seguindo-se as transgênicas resistentes a insetos (29%) e as resistentes

No Brasil, se for feita uma comparação entre a genética na agricultura de cerca de dez anos atrás com a atual, nota-se que a defasagem felizmente está diminuindo

## TRANSGÊNICOS

a vírus (7%). Plantas com outras características genéticas incorporadas constituem apenas 1% da área plantada. O algodão transgênico, contendo um gene de bactéria que confere maior resistência ao ataque de insetos, além de reduzir o uso de inseticidas com ganhos de cerca de US\$ 200 por hectare, tem resultado em um aumento de produção da ordem de 7% nos EUA. O milho com a mesma característica introduzida para resistência a insetos resultou também nos EUA em aumento anual de 9% na produção já por dois anos consecutivos. Esses são apenas alguns exemplos da importância atual das modernas tecnologias na área de genética e biotecnologia agrícola. Para maiores detalhes, sugere-se a leitura de uma numerosa literatura a respeito, salientando-se uma

edição especial da revista *Trends in Biotechnology*, de setembro de 1995, e o trabalho de C. James (6).

No Brasil, se for feita uma comparação entre a genética na agricultura de cerca de dez anos atrás com a atual, nota-se que a defasagem felizmente está diminuindo. Isso está ocorrendo por diversos fatores: a) técnicas antes só disponíveis em laboratórios altamente especializados e que necessitavam de equipamentos dispendiosos e insumos importados foram tornando-se mais acessíveis, mais baratas, com *kits* encontrados no mercado, o que facilitou seu uso, mesmo por pessoal com pouca experiência em biologia molecular; b) treinamento de muitos pesquisadores brasileiros no exterior com bolsas do CNPq, da Capes e do RHAEB-Biotecnologia; também foram implan-

tados e consolidados cursos de pós-graduação voltados para o melhoramento de plantas e microorganismos de interesse aplicado na agricultura. Nesses cursos têm sido desenvolvidas pesquisas que resultam na formação de mestres e doutores que já possuem uma visão moderna do melhoramento na agricultura; c) maior integração vem ocorrendo entre distintos grupos, com incorporação de técnicas de biologia molecular aos laboratórios de genética vegetal e de microorganismos que trabalham com melhoramento genético; conseqüente uso dessas técnicas em programas de melhoramento genético de interesse para a agricultura; d) criação de grupos, núcleos e centros de biotecnologia com forte componente agrícola, como os que atualmente existem na USP (Piracicaba), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na Universidade de Caxias do Sul, na Universidade Federal de Viçosa e em outras, inclusive em universidades privadas, como a de Mogi das Cruzes, no Estado de São Paulo, que criou o Núcleo Integrado de Biotecnologia (NIB), voltado à resolução de problemas agrícolas que afetam a região onde está inserido este núcleo; e) conscientização por parte dos melhoristas da importância das novas tecnologias para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético, incorporando principalmente marcadores moleculares nos métodos de melhoramento; f) com a criação da Embrapa, muitos de seus centros espalhados por todo o Brasil adicionaram técnicas modernas de biotecnologia a seus programas. Somando-se a outras investigações realizadas pela rede de escolas de agronomia e institutos estaduais de pesquisa agrícola, o Brasil tor-

nou-se o mais avançado país em agricultura tropical, exportando tecnologia e produtos para outros países com condições de clima semelhantes. A utilização do cerrado brasileiro foi uma das grandes conquistas da nossa agricultura. Para isso, foi necessário o desenvolvimento de plantas geneticamente melhoradas para suportar as con-

dições do cerrado, que hoje produz 30% da soja nacional; g) conscientização das agências de fomento à pesquisa no Brasil da importância em financiar projetos que tragam retorno econômico ao país. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) está financiando o projeto "genoma", visando a seqüenciar



Paulo Andrade

# Nota-se um aumento substancial de bons projetos nas áreas de genética e o emprego da genética na biotecnologia agrícola

o material genético de uma bactéria fitopatogênica, a *Xylella fastidiosa*, responsável pela doença conhecida como “amarelinho” ou Clorose Variegada dos Citrus (CVC), que grandes prejuízos está causando à citricultura paulista. Esse programa conta com a participação de um grupo privado – a Fundecitrus. Com a capacidade instalada em seqüenciamento de DNA, o programa está gerando outros, como o que envolve cana-de-açúcar, em colaboração com a Copersucar. O CNPq está iniciando um programa induzido relativo ao agronegócio, no qual vários aspectos da moderna genética serão contemplados; h) estabelecimento de normas governamentais que visam a proteger a propriedade industrial e normas de biossegurança que assegurem a confiabilidade dos produtos gerados por tecnologia do DNA recombinante, colocando o Brasil como um possível parceiro no desenvolvimento de projetos conjuntos com empresas, institutos de pesquisa e universidades do exterior; i) maior facilidade de busca de informações e comunicação em nível

mundial, diminuindo o período de tempo entre o aparecimento de novas técnicas, processos e produtos e sua incorporação às pesquisas realizadas no Brasil.

Graças a esses e a outros fatores, o país dispõe hoje de um contingente de geneticistas e especialistas de áreas afins que qualitativamente são muito bons e estão aptos a promover a incorporação de novas tecnologias de interesse para a área agrícola. A Sociedade Brasileira de Genética conta atualmente com 2.351 sócios, dos quais 19% estão trabalhando com genética vegetal; outros 6% dos 28% de sócios especialistas em genética de microorganismos e molecular devotam seus trabalhos a problemas relacionados à agricultura. Ainda é um contingente pequeno de pesquisadores, se comparado com a quantidade existente em outros países, como EUA e Japão. Mesmo assim, vários projetos estão em andamento em laboratórios de genética e afins no Brasil utilizando tecnologias de ponta para desenvolver processos e produtos de interesse para a agricultura. Alguns

deles podem aqui ser citados: produção de soja transgênica com características favoráveis, inclusive com melhoria de propriedades como as organolépticas (Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais); uso de marcadores moleculares no melhoramento genético e conservação de biodiversidade (Embrapa e outras instituições); testes com plantas transgênicas para maior eficiência fotossintética (Esalq, Piracicaba, SP); melhoramento genético de vírus, bactérias e fungos usados no controle biológico de pragas e doenças de plantas (Embrapa, Esalq/USP, Unicamp, etc.); plantas de feijoeiro transgênicas resistentes ao vírus do mosaico do feijoeiro (Cenargen-Embrapa); microorganismos de interesse enológico (Universidade de Caxias do Sul, RS); uso de cana-de-açúcar para produção de plástico degradável a partir da bactéria *Alcaligenes eutrophus* (USP, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SP, Copersucar); seleção de bactérias fixadoras de nitrogênio que reduzem emprego de insumos nitrogenados (Embrapa, UFRGS); e muitos outros.

Nota-se um aumento substancial de bons projetos nas áreas de genética e o emprego da genética na biotecnologia agrícola. Nota-se, também, maior integração entre institutos de pesquisa e universidades com empresas privadas. Estão também ocorrendo financiamentos para pesquisa resultantes de esforços conjuntos de agências de financiamento e empresas privadas, como é o caso da Fapesp, unindo esforços com a Fundecitrus no projeto genoma de *Xylella*, e com a Copersucar, no caso do genoma de cana-de-açúcar. A própria integração entre diferentes grupos de pesquisa em busca de

soluções comuns é um forte indício de que a área está amadurecendo e deverá trazer excelentes retornos para a agricultura brasileira.

## **E O QUE PODERÁ PROPORCIONAR O FUTURO?**

Em uma área tão dinâmica, qualquer previsão, ainda que em termos de futuro a curto e médio prazo, é temerária. Entretanto, podem ser feitas especulações com base em alguns dados reais. Um desses dados é o de que a população humana continua a aumentar, estimando-se que em 2010 devam existir 8 bilhões de pessoas no mundo necessitando ser alimentadas. Outro dado é que a quantidade de terra agricultável é limitada e, portanto, não se pode pensar em incremento na produção de alimentos simplesmente pela ampliação das fronteiras agrícolas. Assim, resta o caminho do aumento de produtividade, o que pode ser conseguido de várias maneiras, inclusive por processos genéticos. É de se supor, portanto, que mais pesquisa e maiores investimentos vão ser destinados a resolver o problema da fome no mundo. A genética deve contribuir, como já tem feito, por meio do melhoramento genético, especialmente de plantas cultivadas. O Brasil deve ocupar posição de destaque, pois possui uma extensa área de terras agricultáveis.

A agricultura terá de ser cada vez mais produtiva e menos poluidora. É, portanto, de se supor que uma ênfase cada vez maior seja dada ao controle biológico, quer pela produção de plantas melhoradas geneticamente para resistir a pragas e a moléstias, quer pelo desenvolvimento de processos e produtos de controle biológico em que organismos, principalmente fungos, bactérias e vírus melhorados geneticamente e mais eficientes que os atuais, deverão substituir agroquímicos. Também deverão surgir plantas melhoradas que tenham capacidade de resistir a condições de estresse e que possam ser cultivadas em solos atualmente considerados antieconômicos para a prática agrícola. A utilização de fertilizantes poderá diminuir pela descoberta, pelo uso e pelo melhoramento genético de novos microorganismos, como ocorre com os fixadores de nitrogênio atmosférico e os fungos que vivem em associação com raízes de plantas. É de se supor também que novas ferramentas, como os marcadores moleculares, devam imprimir um avanço na genética quantitativa e de populações. Sua associação com seqüenciamento de genomas e desenvolvimento de técnicas cada vez mais eficientes de detecção de proteínas produzidas por plantas e microorganismos que sejam de importância para o melhoramento, ou

seja, o estudo de proteomas (junção das palavras proteína e genoma), deverá ser empregada cada vez mais no melhoramento genético. Este, altamente empírico no passado, tornar-se-á cada vez mais racional e efetivo. Plantas transgênicas deverão se tornar mais frequentes na mesa do consumidor. A área cultivada com plantas transgênicas deverá crescer, como já vem acontecendo, e deverão surgir plantas com características mais complexas, como as poligênicas, isto é, regidas por vários genes, visando a melhorar o valor nutricional das mesmas, a produtividade, a resistência a condições adversas e muitas outras. Vegetais deverão ser empregados comercialmente para produzir fármacos, vacinas e outros produtos, constituindo-se verdadeiras "fazendas moleculares".

Deverá existir uma preocupação cada vez maior com a manutenção e a utilização da biodiversidade de plantas e, principalmente, de microorganismos. Os processos de preservação deverão ser também melhorados e, se possível, seres vivos serão mantidos em bancos de germoplasma apenas por meio de seu DNA.

Deverá crescer ainda mais a preocupação visando a monitorar e a diminuir a poluição do ambiente ocasionada pela própria agricultura. Além dos processos anteriormente

descritos, como métodos de controle biológico diminuindo o uso de agroquímicos e uso de microorganismos reduzindo o uso de insumos agrícolas, deverão ser concentrados esforços cada vez maiores no uso de microorganismos geneticamente modificados utilizados na degradação de produtos xenobióticos, como os que são introduzidos no ambiente pelos agricultores.

Essas são apenas algumas especulações sobre o uso da genética na agricultura. Outros avanços deverão surgir em áreas afins e poderão revolucionar ainda mais a produção de alimentos, sua conservação e seus variados usos. O campo está aberto para novas descobertas e

avanços. Pode-se prever finalmente que esta será, por muito tempo ainda, uma área de pesquisa altamente dinâmica e de importância, especialmente no Brasil, país com grandes áreas de terra que podem ser destinadas à agricultura, com uma das maiores reservas de água do mundo e localizado em grande parte em região tropical, podendo produzir mais alimentos em menos tempo graças à alta incidência de energia solar e conseqüente maior rapidez no crescimento das plantas cultivadas, o que poderá ser ainda mais aperfeiçoado. Com certeza é possível afirmar que novas tecnologias, ainda mais eficientes, deverão sempre surgir, pois a criatividade

da espécie humana está longe de ser esgotada. Muitas delas deverão contribuir para a melhoria de plantas e microorganismos úteis, resultando na melhoria das próprias condições de vida da humanidade. \*

#### João Lúcio de Azevedo

Engenheiro agrônomo pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, PhD pela Universidade de Sheffield, Grã-Bretanha, atualmente presidente da Sociedade Brasileira de Genética e coordenador do Núcleo Integrado de Biotecnologia (NIB) da Universidade de Mogi das Cruzes, Estado de São Paulo.

## referências bibliográficas

1. AZEVEDO, J. L. 1993. A pesquisa agropecuária no Brasil. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas. 63 p. (Série Ciência e Tecnologia no Brasil).
2. \_\_\_\_\_. "Pesquisa agropecuária". 1996. Em SCHWARTZMAN, S. (coordenador). A capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, volume 3. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 287-320.
3. CAPDEVILLE, G. 1991. O ensino superior agrícola no Brasil. Viçosa: Imprensa Universitária/Universidade Federal de Viçosa. 100 p.
4. DIETRICH, S. M. C. 1996. "Botânica, ecologia, genética e zoologia". Em SCHWARTZMAN, S. (coordenador). A capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, volume 3. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 73-92.
5. FIGUEIREDO, J. O., PID, R. M. 1998. "Ênfase no melhoramento de variedades de copa". Revista dos 70 anos do Centro de Silvicultura Sylvio Moreira/IAC, p. 20-22.
6. JAMES, C. 1998. Global status and distribution of commercial transgenic crops in 1997. *Biotechnology and Development Monitor*, 35: 9-12.
7. MALAVOLTA, E. 1986. "As ciências agrícolas no Brasil". Em FERRI, M. G, MOTOYAMA, S. (coordenadores). História das ciências no Brasil. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo.
8. PAES DE CARVALHO, A. 1996. "Biotecnologia". Em SCHWARTZMAN, S. (coordenador). A capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, volume 3. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, p. 19-72.
9. PATERNIANI, E., AZEVEDO, J. L. 1996. Salvando o planeta com alta tecnologia agrônômica. *Ciência Hoje*, 122: 27-29.
10. SCHWARTZMAN, S. 1979. Formação da comunidade científica no Brasil. Rio de Janeiro/São Paulo: Cia. Editora Nacional/Finep. 481 p.
11. SCRIBAN, R. 1985. Biotecnologia. São Paulo: Editora Manole. 489 p.
12. SOCIEDADE BRASILEIRA DE GENÉTICA. 1986. Desempenho e rumos da genética no Brasil – Conclusões da reunião de Águas de Lindóia. Ribeirão Preto: Editora da Sociedade Brasileira de Genética. 56 p.
13. SOCIEDADE BRASILEIRA DE GENÉTICA. 1993. Cadastro de geneticistas brasileiros. Ribeirão Preto: Editora da Sociedade Brasileira de Genética. 203 p.
14. TEÓFILO SOBRINHO, J. 1998. Uma verdadeira revolução na pesquisa citrícola. Revista dos 70 anos do Centro de Citricultura Sylvio Moreira/IAC, p. 3.

# plantas transgênicas

as novas ferramentas para a agricultura

Ana Cristina Miranda Brasileiro

**D**esde a pré-história, o homem vem domesticando as plantas, escolhendo sempre as melhores, maiores e mais bonitas para sua alimentação e para a produção de fibras. As práticas mais primitivas de plantio, cultivo, colheita e armazenamento findaram por exercer uma pressão seletiva nas espécies cultivadas, diferente daquela exercida no meio ambiente natural. Assim, de uma maneira inconsciente, o homem primitivo iniciou o melhoramento de plantas, aprimorando aquelas espécies que traziam algum benefício para sua comunidade. Ao longo dos tempos, e mais particularmente nos últimos 150 anos, o melhoramento de plantas tornou-se uma disciplina bastante complexa, incorporando as mais

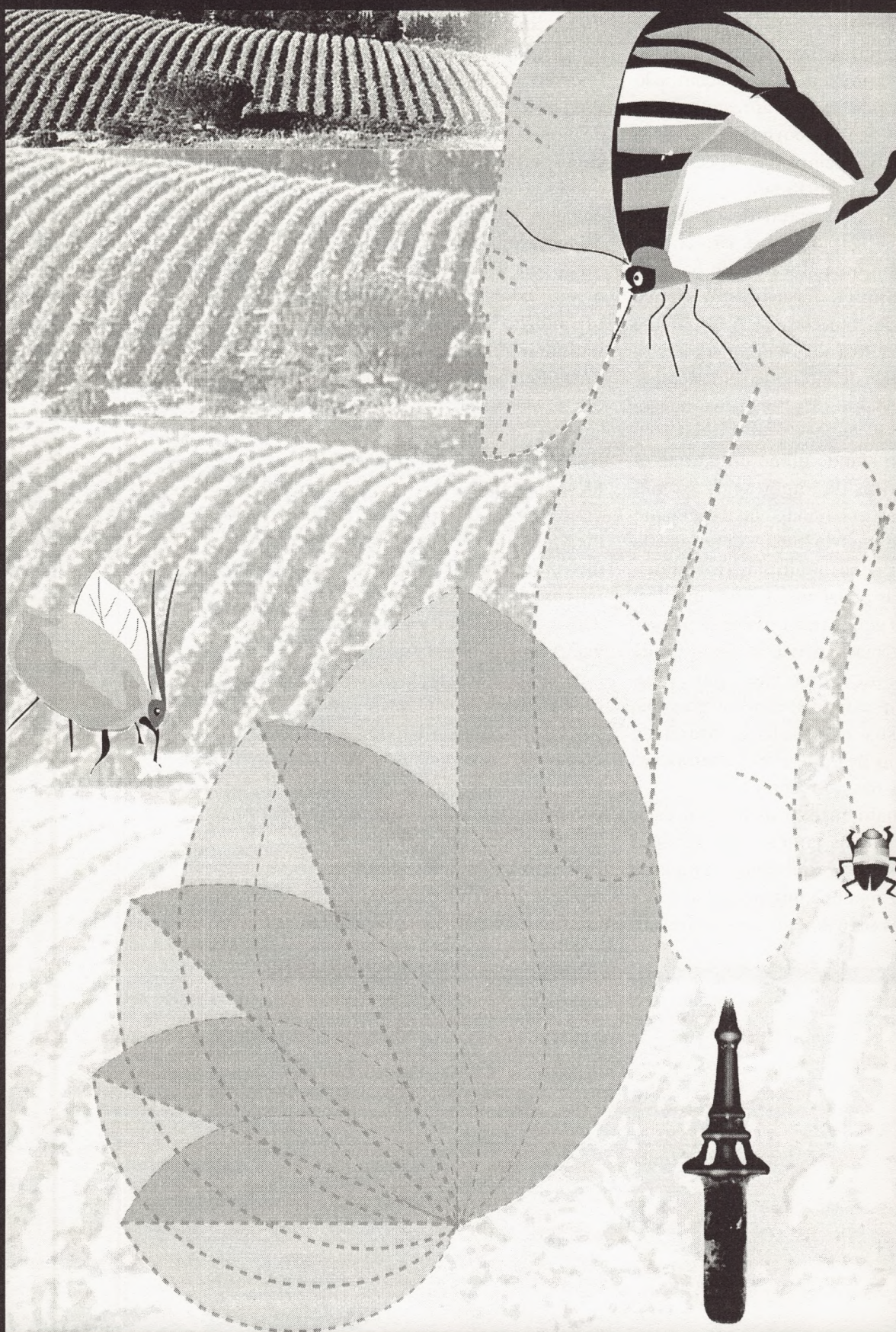
distintas informações provenientes dos diferentes ramos das ciências naturais e exatas. O melhoramento de plantas consiste, assim, na criação de novos genótipos e a sua subsequente seleção para características de interesse.

Durante séculos, a única técnica utilizada para introduzir variabilidade genética em plantas foi o cruzamento sexual ou hibridação, pelo qual dois genótipos distintos (parentais), contendo cada um características de interesse, são cruzados. Na progênie obtida são selecionados os genótipos que receberam o maior número de características de interesse. Os novos genótipos obtidos são então utilizados em novos cruzamentos, até obter-se a variedade procurada. Assim, o pesquisador seleciona as características de interesse que estão dispersas entre

os numerosos indivíduos de uma determinada espécie (ou de grupos sexualmente compatíveis) e procura agrupá-las para produzir uma nova variedade contendo a maior quantidade de atributos possível.

Por meio da manipulação das distintas características de interesse, o melhoramento de plantas trouxe enormes ganhos para a produtividade destas. Entretanto, o melhoramento tem esbarrado em algumas limitações em razão de características genéticas, morfológicas e fisiológicas intrínsecas às plantas.

- Primeiramente, o desenvolvimento de uma nova variedade necessita aproximadamente de 5 a 15 anos, dependendo do ciclo de vida da planta. Esse longo período deve-se aos programas



de melhoramento que exigem diferentes etapas de cruzamentos, retrocruzamentos e seleção. Esse problema é mais acentuado em plantas que apresentam ciclos de vida longos e complexos, como a maioria das espécies florestais e frutíferas.

- Algumas características possuem uma ligação gênica, isto é, possuem uma alta taxa de herança conjunta. Essa ligação gênica pode tornar-se um problema quando a adição de uma característica de interesse vem acompanhada de características indesejáveis, ou mesmo deletérias.
- Um grande número de características de importância agrônômica, como tamanho da semente e textura do fruto, é determinado por genes múltiplos (características poligênicas). Cada um desses genes traz um efeito pequeno, mas aditivo, ao fenótipo da planta. Como esses genes podem estar dispersos no genoma, a sua manipulação ordenada pelo pesquisador é muitas vezes bastante complicada.
- Finalmente, a disponibilidade de novos genes (*pool* gênico) para os pesquisadores está cada vez menor, limitando-se às espécies sexualmente compatíveis.

No século XX, novas técnicas foram incorporadas ao melhoramento genético e contribuíram imensamente para diminuir o tempo necessário para a obtenção de novas variedades, bem como para gerar novas fontes de variabilidade genética. Entre essas tecnologias, podemos citar a indução de mutação por tratamentos químicos ou físicos. Mais recentemente, novas técnicas, ditas “biotecnologias”, vieram juntar-se ao melhoramento de plantas, utilizando ferramentas modernas advindas da biologia celular e molecular.

#### **AS FERRAMENTAS BIOTECNOLÓGICAS NA AGRICULTURA**

Hoje em dia é muito comum folhearmos uma revista científica ou mesmo um jornal popular e deparmos com o termo biotecnologia. Afinal, o que significa biotecnologia? A biotecnologia pode ser definida como a utilização de agentes biológicos na obtenção de produtos ou processos de valor socioeconômico, que podem ser utilizados nas mais diferentes áreas, como saúde e agricultura. Aliás, a biotecnologia como tal vem sendo praticada há milênios, desde que o homem começou a utilizar microorganismos para a produção de

queijo, vinho, cerveja, pão ou iogurte. Para tanto, o princípio era sempre o mesmo: um determinado material era transformado em produto pela ação de um agente biológico. Assim, os egípcios utilizaram biotecnologia quando transformavam cevada em cerveja utilizando leveduras, 2.000 anos antes de Cristo. No início do século XX, a descoberta de que os antibióticos (que são produzidos por microorganismos) poderiam ser utili-

zados no combate a doenças em humanos marcou uma nova fase da biotecnologia.

A biotecnologia dita moderna adveio a partir da década de 1950, depois da elucidação da estrutura do DNA e, por consequência, do melhor entendimento da biologia molecular. Entretanto o seu princípio continua o mesmo, isto é, transformar matérias em produtos utilizando-se, para tanto, de agentes biológicos. Hoje em dia, a bio-

## **A biotecnologia dita moderna adveio a partir da década de 1950, depois da elucidação da estrutura do DNA**

tecnologia faz parte do nosso cotidiano, por meio da produção, em microorganismos geneticamente modificados, de insulina humana, interferon, hormônio de crescimento, antígeno, entre outros. No lado ambiental, já podemos utilizar microorganismos que são capazes de degradar o óleo derramado por navios no mar, ou aqueles que são capazes de transformar efluentes industriais em produtos inofensivos ao meio ambiente.

A biotecnologia moderna tem tido também um grande impacto na agricultura. Ela está presente nos diversos segmentos da produção agrícola, desde o melhoramento de espécies cultivadas até a comercialização de seus produtos, contribuindo tanto para o aumento da produtividade quanto para a qualidade do produto obtido. A biotecnologia moderna vegetal utiliza diferentes tecnologias, que podem ser divididas em dois grupos: as “celulares”, que comportam a cultura de tecidos vegetais, e as tecnológicas ditas “moleculares”, que utilizam o DNA recombinante.

A cultura de tecidos refere-se à manutenção, propagação e regeneração de certas partes da planta (células, tecidos ou órgãos) em um ambiente biologicamente puro (axênico) e controlado (*in vitro*). Na cultura de tecidos, a micropropagação tem especial destaque, pois permite a multiplicação vegetativa *in vitro* de um genótipo considerado superior, obtendo um grande número de cópias, em menor tempo e espaço, e assegurando maior homogeneidade de produção para o agricultor. Outra tecnologia, como o resgate de embriões, permitiu que espécies, anteriormente incompatíveis, produzam híbridos viáveis, por meio do crescimento dos embriões em um

meio de cultura. A limpeza clonal, por meio da cultura de meristemas, permitiu a obtenção de plantas completamente livres de patógenos, incluindo vírus. A descoberta de que protoplastos (células vegetais desprovidas de parede celular) pertencentes a diferentes espécies, ou mesmo gêneros, podem fundir-se e gerar híbridos somáticos nucleares ou citoplasmáticos levou ao surgimento de híbridos somáticos, contendo características dos genótipos parentais, sem a necessidade de compatibilidade sexual entre eles. A técnica de cultura de anteras e pólenes permitiu a obtenção de plantas haplóides, que são ferramentas extremamente valiosas no processo de obtenção de novas variedades.

Avanços nos conhecimentos em biologia molecular abriram novas possibilidades para a utilização da tecnologia do DNA recombinante, ou engenharia genética, no melhoramento de plantas. Essas técnicas ditas “moleculares” consistem basicamente na utilização de marcadores moleculares e de *kits* de diagnóstico e na obtenção de plantas transgênicas. Os marcadores moleculares permitem a seleção de indivíduos superiores com base em sua constituição genética (genótipo), com alta taxa de confiabilidade, principalmente para características de baixa herdabilidade. Os marcadores moleculares são também importantes ferramentas em programas de caracterização de germoplasmas. Por outro lado, por meio de *kits* de diagnóstico, é possível fazer testes de detecção de patógenos de uma maneira mais rápida, mais prática e, principalmente, mais confiável. Esses *kits* utilizam sondas moleculares ou anticorpos e estão contribuindo

# DNA

enormemente para o controle, o combate e a indexação de diferentes tipos de doenças de plantas. Finalmente, a transformação genética, objeto deste artigo, está começando a ter os seus primeiros impactos na agricultura. Graças ao seu caráter inovador, o lançamento no mercado mundial dos primeiros produtos oriundos de plantas transgênicas tem gerado muitas discussões no meio científico e na sociedade como um todo.

## O QUE SÃO PLANTAS TRANSGÊNICAS E COMO OBTÊ-LAS?

A transformação genética consiste na introdução controlada de um gene, ou fragmento de DNA, no genoma receptor de uma planta e sua posterior expressão, conferindo a essa planta uma nova característica.

O gene introduzido pode ser oriundo de uma planta, de qualquer outro organismo (animais, bactérias, vírus, fungos, etc.) ou mesmo sintetizado em laboratório, daí a denominação transgene ou gene exógeno. Uma vez incorporado ao genoma e expresso de maneira estável, o transgene passa a

fazer parte do patrimônio genético da planta, sendo transmitido para a progênie juntamente com os outros genes dessa planta, isto é, a introdução do transgene não altera a constituição genética global da planta. Assim, as plantas transgênicas constituem fonte adicional de variabilidade genética para ser incluída nos programas de melhoramento.

Para se obter uma planta transgênica são necessárias três etapas básicas. A primeira delas e, geralmente, a mais limitante, é a identificação do gene que irá conferir uma nova característica de interesse para a planta em estudo. Em determinados casos, essa característica é monogênica, isto é, determinada pela expressão de um único gene, como, por exemplo, genes que conferem resistência a herbicidas, insetos ou vírus. Nesse caso, a identificação e o isolamento desse gene e sua transferência para uma planta permitirão a obtenção de plantas transgênicas expressando essa característica. Entretanto, quando a característica é poligênica, isto é, determinada pela expressão de mais de um gene, a identificação e o isolamento dos genes tornam-se mais complexos. Por isso, procura-se atuar indiretamente sobre essa característica por meio da manipulação de genes que possam alterar a expressão de genes preexistentes na planta e que estejam envolvidos em vias metabólicas importantes na determinação da característica. Após a identificação, o gene de interesse deverá ser isolado do organismo doador e clonado em um vetor para transformação de plantas. Para poder ser expresso em plantas, a sequência codificadora do gene de interesse deverá ser colocada sob controle de seqüên-

cias regulatórias de plantas, ou que nela se expressem. Os promotores e os terminadores do gene do RNA 35S do vírus-do-mosaico-da-couve-flor (CaMV) e dos genes de síntese de opinas em *Agrobacterium* são seqüências regulatórias muito utilizadas na transformação genética de plantas, embora não tenham sua origem em plantas.

Uma vez clonado, o gene de interesse deverá ser introduzido no genoma da planta em estudo. Atualmente, diferentes estratégias para a transferência de genes em plantas estão disponíveis, sendo que as

características

mais utilizadas são a transformação via *Agrobacterium* e via aceleração de partículas. A utilização do sistema *Agrobacterium* está baseada na capacidade natural dessa bactéria de transferir parte do seu plasmídeo Ti (T-DNA) para o genoma da planta. Na aceleração de partículas, a introdução de moléculas de DNA em células vegetais intactas é realizada por meio de microprojéteis acelerados a alta velocidade.

A última etapa para a transformação de uma planta é o estabelecimento de um sistema eficiente,

## O impacto mais imediato das plantas transgênicas está na agricultura


simples e, principalmente, reproduzível de regeneração *in vitro* dessa espécie. Durante o processo de regeneração, a célula inicialmente transformada multiplica-se e dá origem a uma planta inteira, na qual todas as células vão conter a nova informação introduzida. A regeneração está baseada no princípio da totipotência, isto é, a potencialidade que as células vegetais têm de diferenciar-se, originando um indivíduo. Cada espécie vegetal, ou mesmo diferentes genótipos dentro de uma mesma espécie, tem diferentes exigências nutricionais e hormonais para sua regeneração. Avanços na pesquisa em reguladores de crescimento vegetais e cultura de tecidos fazem com que um número crescente de plantas possa ser regenerado via organogênese ou embriogênese, permitindo a obtenção de plantas transgênicas.

### PARA QUE SERVEM AS PLANTAS TRANSGÊNICAS?

Com certeza o impacto mais imediato das plantas transgênicas está na agricultura, seja para a geração direta de novas variedades ou para

a obtenção de genótipos a serem utilizados em um programa de melhoramento convencional. Em qualquer um dos dois casos, a planta transgênica obtida deverá passar por um processo de avaliação nos seus diversos aspectos agrônômicos.

Atualmente, diferentes características de interesse socioeconômico já estão sendo introduzidas em diversas espécies vegetais por transformação genética. Essas características visam principalmente ao melhoramento do desempenho em campo dessas plantas cultivadas, por meio da resistência a patógenos (insetos, vírus, bactérias, fungos e nematóides), a herbicidas e a estresses ambientais (metais pesados, baixa umidade, salinidade, baixa temperatura e geada). Características relacionadas ao desenvolvimento da planta, tais como maturação de frutos e sementes, diferenciação de grãos de pólen (macho-esterilidade), desenvolvimento de gemas florais, arquitetura e porte da planta, eficiência fotossintética, também podem ser modificadas. Características ligadas à qualidade do produto, como



coloração de flores, aumento do valor nutricional, modificação do teor/conteúdo de óleo, amido, lignina ou fibras, também podem ser alteradas em plantas transgênicas. A tendência é que a cada vez um maior número de características possa ser manipulado via engenharia genética, aumentando a gama de produtos a serem disponibilizados para o consumidor. Em um futuro breve, as plantas transgênicas desempenharão também o papel de biofábricas, desenvolvidas para a produção de produtos de interesse para as indústrias de medicamentos, de alimentos e de rações, por meio, por exemplo, da produção de vacinas, anticorpos, enzimas, metabólitos, biopolímeros e químicos específicos.

Assim, a transformação genética tem a vantagem de permitir a adição de uma única característica em uma variedade melhorada, sem necessidade de retrocruzamentos para remover ligações gênicas não-desejáveis. Além disso, como o novo gene introduzido pode ser proveniente de qualquer outro organismo (não necessariamente planta), o *pool* gênico disponível torna-se teoricamente ilimitado.

Além de todas as implicações para a agricultura e outros setores da economia, as plantas transgênicas constituem também um excelente sistema para estudos básicos em diferentes campos da biologia, como fisiologia, genética, biologia molecular e celular. Um dos interesses da transformação genética está no estudo da função e da regulação da expressão gênica. Estudos da função do gene podem ser feitos pelo uso de complementações funcionais em plantas mutadas, pela introdução de seqüências senso e anti-senso

para induzir baixa ou alta expressão, entre outras. Os fatores que influenciam ou mediam a regulação da expressão gênica podem ser também elucidados com o uso de fusões gênicas, nas quais seqüências codificadoras de um gene repórter estão sob o controle de seqüências regulatórias do gene em estudo. Essas fusões são introduzidas nas células e sua expressão é analisada.

### **ONDE ESTÃO AS PLANTAS TRANSGÊNICAS?**

A capacidade de introduzir e expressar genes de diferentes origens em plantas, primeiramente descrita para fumo (*Nicotiana tabacum*) em 1984, foi estendida para mais de 120 espécies vegetais pertencentes a, pelo menos, 35 famílias. Essas espécies incluem as principais plantas de importância agrônômica, como cereais, leguminosas, hortaliças, ornamentais, medicinais, frutíferas, florestais e forrageiras.

Hoje, a área total no mundo plantada com transgênicos atinge, aproximadamente, 27,8 milhões de hectares. Para se ter uma idéia do crescimento da tecnologia, basta lembrar que em 1996 essa área era de somente 1,7 milhão de hectares. Da área total plantada atualmente, 74% estão nos Estados Unidos, 15% na Argentina e 10% no Canadá. O restante da área (com menos de 1% da área total) inclui principalmente a Austrália, o México, a Espanha, a França e a África do Sul. Isso significa que a maioria dessas áreas está em países industrializados. Por falta de dados oficiais mais recentes, esse levantamento não inclui a China, que possuía, sozinha, um total de 1,8 milhão de hectares em 1997, o que correspondia na época a 14%

da área total no mundo. Estima-se que no ano 2000 a área plantada com produtos transgênicos será superior a 50 milhões de hectares.

De 1986 a 1997, aproximadamente 25 mil ensaios de campo foram realizados no mundo com plantas transgênicas em mais de 45 países. Nesses ensaios já foram testadas mais de sessenta espécies vegetais contendo características distintas, sendo que as principais culturas são: soja (52%), milho (30%), algodão (9%), canola (9%) e batata (<1%). Nessas culturas, as principais características introduzidas são: tolerância a herbicidas (71%), resistência a insetos (28%), tolerância a herbicidas e resistência a insetos (1%) e melhoria da qualidade do produto (<1%). Hoje, mais de 2 mil variedades de transgênicos estão sendo testadas em campo, sendo que 85% dessas variedades foram desenvolvidas por empresas privadas.

Como pode ser observado, o número de características que estão sendo avaliadas em campo ainda é bastante limitado. Essa limitação deve-se essencialmente à pouca disponibilidade de genes caracterizados que confirmam características de interesse. Atualmente, somente de trinta a quarenta genes estão sendo utilizados para produzir plantas transgênicas comerciais. Daí a enorme necessidade de investimentos em pesquisa básica para que se possa melhor entender a base molecular dos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas.

## O BRASIL E AS PLANTAS TRANSGÊNICAS

Foi na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, localizada em Brasília (DF), que se estabeleceu a primeira equipe de pesquisadores realizando trabalhos em clonagem

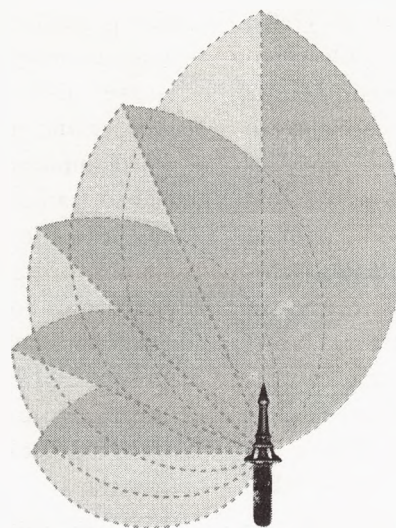
de genes e desenvolvimento de tecnologias para a obtenção de plantas transgênicas. Hoje, vários laboratórios no Brasil estão trabalhando com plantas geneticamente modificadas, incluindo, entre outros, diferentes centros de pesquisa da Embrapa (Embrapa Milho e Sorgo (MG), Embrapa Soja (PR), Embrapa Arroz e Feijão (GO), Embrapa Mandioca e Fruticultura (BA) e Embrapa Hortaliças (DF)) e universidades como a Universidade Federal de Viçosa (UFV-MG), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS-RS), a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-SP), a Universidade de Campinas (Unicamp-SP), a Universidade de São Paulo (USP-SP) e a Universidade Federal de Pelotas (UFPeL-RS).

Esses centros de pesquisa estão desenvolvendo protocolos de transformação genética para diferentes espécies de interesse socioeconômico para o país, como soja,

milho, feijão, batata, eucalipto, tomate, arroz, mamão, café, cacau e algodão. Nessas culturas estão sendo introduzidos genes que irão conferir características como resistência a pragas e doenças, tolerância a herbicidas, amadurecimento tardio de frutos, aumento do teor nutricional, entre outras.

Assim, o Brasil ocupa posição de destaque nas pesquisas em plantas transgênicas entre os países em desenvolvimento. A nossa dependência tecnológica está sendo minimizada pelos esforços e investimentos realizados nessa área nos últimos anos. Entretanto, o grande obstáculo da pesquisa em plantas transgênicas no país ainda é a limitação que temos no aporte de recursos.

O plantio comercial da primeira planta transgênica no Brasil talvez seja feito ainda este ano. Trata-se de uma variedade de soja com tolerância a herbicida cujo impacto ambiental da sua liberação no meio ambiente foi avaliado pela Comissão Técnica Nacional de



# PESQUISAS

Biossegurança (CTNBio). A CTNBio tem como responsabilidade certificar e monitorar a qualidade da infra-estrutura e da capacitação técnica das instituições que desenvolvem atividades com transgênicos no país. Assim, para se poder trabalhar com plantas transgênicas no Brasil, a instituição deverá ser credenciada na CTNBio, constituir uma Comissão Interna de Biossegurança (CIBio) e obter um Certificado de Qualidade em Biossegurança (CQB). A CTNBio ainda é responsável por analisar, caso a caso, toda e qualquer liberação de organismos geneticamente modificados (OGMs) no meio ambiente, emitindo parecer técnico conclusivo, cabendo a decisão final aos Ministérios da Saúde, do Meio Ambiente e da Agricultura. A CTNBio é formada por 18 membros, representantes dos diferentes setores da sociedade.

#### **AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL E ALIMENTAR DAS PLANTAS TRANSGÊNICAS**

Embora a única diferença entre uma planta transgênica e aquela que a originou seja o produto da expressão do transgene, existem algumas implicações sobre a sua segurança ambiental e alimentar.

- A primeira implicação estaria na possibilidade de o transgene ser transferido da planta transgênica para outras espécies sexualmente compatíveis que estejam próximas ao seu local de plantio. O risco associado a essa transferência vertical do transgene consiste, principalmente, na aquisição por plantas silvestres de características que possuam alguma vantagem competitiva para elas. Esse fluxo gênico só deve ser levado em consideração para genes que confirmem novas habilidades, como resistên-

cia a pragas e doenças, tolerância a produtos químicos ou a estresses abióticos (salinidade, seca, geada, etc.).

- Outra implicação estaria relacionada à transferência horizontal do transgene para outros organismos, principalmente micro-organismos do solo. Entretanto, a probabilidade de tal fenômeno ocorrer é muito baixa (aproximadamente  $2 \times 10^{-13}$ ), mesmo em condições de alta pressão seletiva.
- A proteína codificada pelo transgene ou algum produto derivado de sua expressão podem ser nocivos (tóxicos ou alergênicos) para humanos ou animais. Por esse motivo, testes de avaliação de segurança alimentar dos produtos derivados de plantas transgênicas são obrigatórios para sua comercialização.

Levando em consideração esses e outros aspectos, até hoje não se tem notícia de prejuízos de qual-

quer natureza causados por plantas transgênicas que tenham sido liberadas para comercialização.

Esses riscos potenciais da liberação no ambiente de plantas transgênicas já estão sendo avaliados pela comunidade científica e vêm sendo amplamente discutidos pela sociedade em geral. Na década de 1970, os primeiros congressos foram realizados para debater as questões de biossegurança e bioética no uso e na liberação no ambiente de OGMs. Desde então, o potencial de risco envolvido na liberação de OGMs no ambiente tem sido avaliado e monitorado em diferentes países por meio de diretrizes ou legislações específicas em biossegurança. No Brasil, as normas e os procedimentos de biossegurança para regular o uso da engenharia genética e a liberação no meio ambiente de OGMs estão regulados pela Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, que criou a CTNBio. Desde 1996 já foram realizados 533 testes em campo

---

## **Os padrões atuais de produção agrícola serão insuficientes para atender às demandas de uma população mundial crescente, que chegará perto de 8 milhões de pessoas na virada do século**

com plantas transgênicas no Brasil, supervisionados pela CTNBio e acompanhados pela fiscalização dos Ministérios do Meio Ambiente e da Agricultura e do Abastecimento. Se em alguma etapa de avaliação, o OGM em estudo apresentar qualquer problema relativo à segurança alimentar (humana ou animal) ou à segurança ambiental, o mesmo será eliminado e sua manipulação e uso proibidos.

A avaliação dos riscos potenciais ligados à disseminação de plantas transgênicas na agricultura depende tanto do tipo de gene introduzido como da espécie vegetal utilizada como receptora. Por isso, a avaliação deve ser feita caso a caso, levando em consideração a espécie vegetal, o tipo de gene e o local do plantio.

Os riscos associados à introdução de OGMs em qualquer ecossistema estão sendo amplamente avaliados em todo o mundo. Entretanto resta a seguinte pergunta: os riscos associados à introdu-

ção de plantas transgênicas no ambiente são significativamente diferentes daqueles oriundos da introdução de uma variedade não-transgênica obtida por melhoramento genético convencional?

### **QUAL O FUTURO DAS PLANTAS TRANSGÊNICAS?**

Os padrões atuais de produção agrícola serão insuficientes para atender às demandas de uma população mundial crescente, que chegará perto de 8 bilhões de pessoas na virada do século. A maioria dessa população (85%) estará concentrada em países pobres ou em desenvolvimento. Somando-se a esse aspecto socioeconômico, existem problemas relacionados à escassez de áreas agricultáveis nos países industrializados e ao impacto da destruição de vegetações nativas para a expansão da fronteira agrícola nos países em desenvolvimento. Por isso, o aumento da produtividade de alimentos ao longo dos próximos anos torna-se impe-

rativo. Dentro desse contexto, as plantas transgênicas constituem uma ferramenta imprescindível para diminuir os custos de produção e aumentar a produtividade e a qualidade do produto. A diminuição da utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas terá como consequência uma agricultura menos danosa à saúde do produtor e ao meio ambiente. Assim, a biotecnologia, por meio da produção de plantas transgênicas e da genética genômica, e associada ao melhoramento convencional de plantas deverá contribuir significativamente para a futura disponibilização de alimentos em nosso planeta.

O tempo necessário para a comercialização de uma variedade transgênica, desde o processo de identificação do gene até seu lançamento no mercado, é aproximadamente de cinco a oito anos, ao custo de 3 a 5 milhões de reais por produto, variando em função da planta e da característica introduzida. Assim, o estabelecimento de políticas corretas no desenvolvimento de produtos transgênicos é estratégico para qualquer país que deseje sustentar seu grau de capacitação tecnológica. Isso é válido principalmente para países em desenvolvimento como o Brasil, que possuem recursos para pesquisa bastante escassos e limitações na formação de pessoal técnico especializado. Por isso, depois de 15 anos da obtenção da primeira planta transgênica no mundo, não nos cabe mais perguntar se as plantas transgênicas vão afetar nossas vidas, mas *de que forma* irão afetá-las. \*

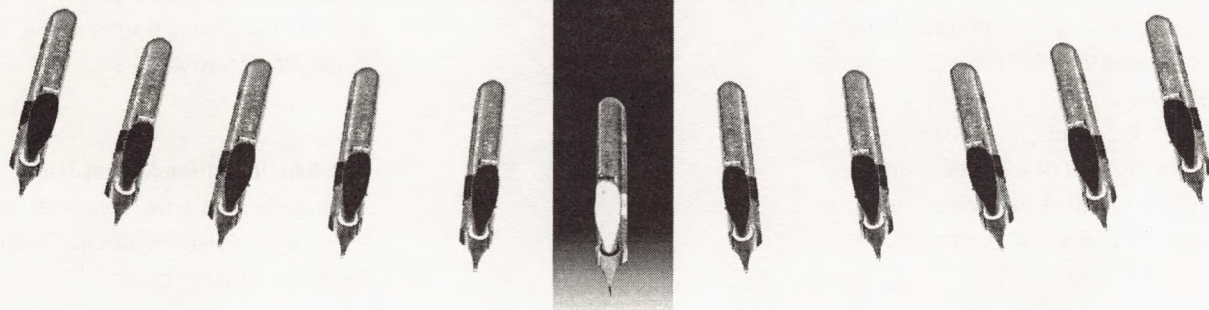
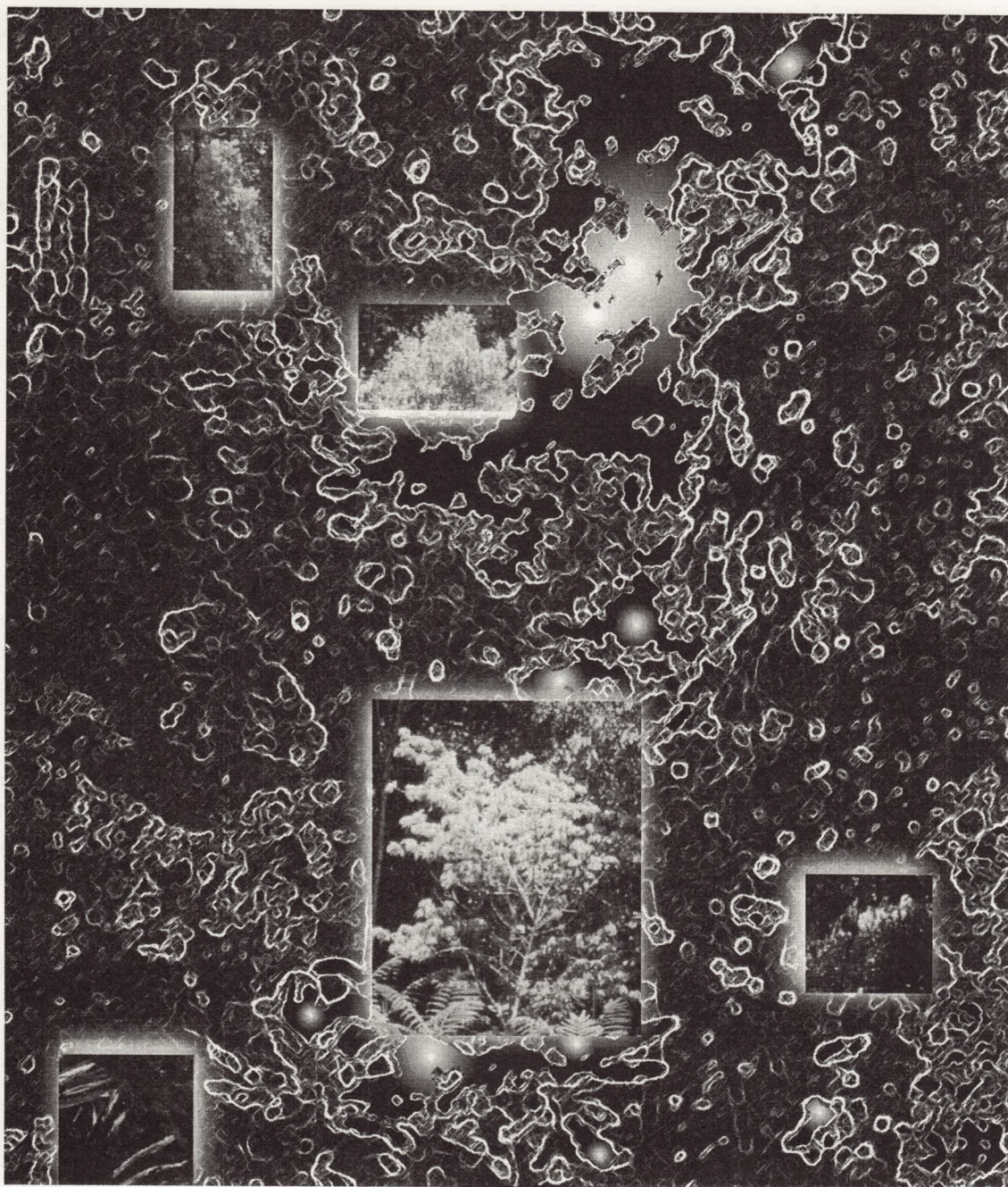
**Ana Cristina Miranda Brasileiro**

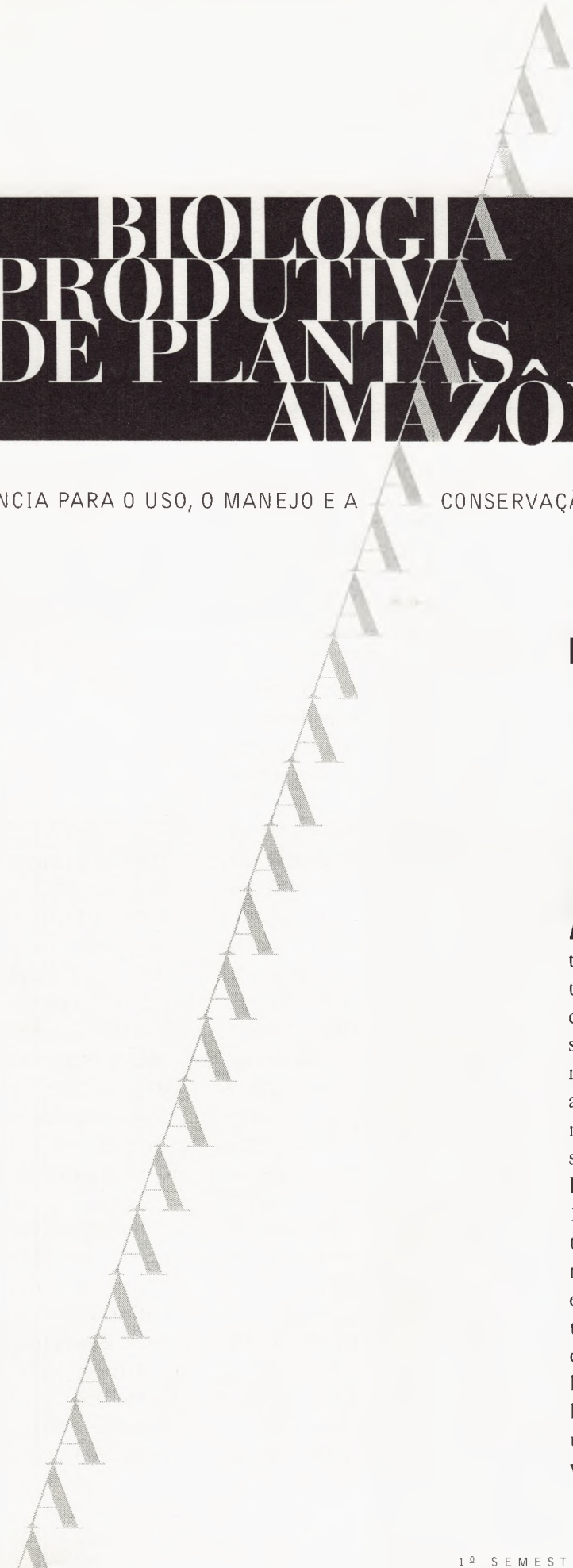
Pesquisadora do Laboratório de Transferência de Genes, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

## **referências bibliográficas**

- BRASILEIRO, A. C. M., CARNEIRO, V. T. C. 1998. Manual de transformação genética de plantas. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-Cenargen. 309 p.
- GANDER, E. S., MARCELLINO, L. H., ZUMSTEIN, P. 1996. Biotecnologia para pedestres. Brasília: Embrapa-SPI. 66 p.
- TORRES, A. C., CALDAS, L. S., BUSO, J. A. 1999. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. Volumes 1 e 2. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPq.

Paulo Andrade





# BIOLOGIA REPRODUTIVA DE PLANTAS AMAZÔNICAS

IMPORTÂNCIA PARA O USO, O MANEJO E A

CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS

**Rogério Gribel**

**A** base de conhecimento sobre a biologia reprodutiva de plantas tropicais, especialmente de árvores tropicais, tem aumentado consideravelmente ao longo das últimas três décadas. Centenas de estudos têm sido publicadas descrevendo os mecanismos de polinização e as adaptações morfológicas e funcionais de flores tropicais (ver revisões em Faegri e van der Pijl, 1979; Prance, 1985; Bawa, 1990; Endress, 1994). Outros estudos têm investigado o sistema reprodutivo, por meio de polinizações controladas, e a frequência relativa de diferentes sistemas sexuais (isto é, a percentagem de espécies com flores hermafroditas, com flores masculinas e femininas presentes em um mesmo indivíduo ou em indivíduos distintos, etc.) no nível de

comunidades (Bawa, 1974; Bawa e Opler, 1975; Zapata e Arroyo, 1978; Appanah, 1981; Bawa *et al.*, 1985 a, 1985 b; Bullock, 1985; Ramirez, 1989; Ramirez e Brito, 1990). Isoenzimas têm sido usadas desde o final da década passada como marcadores genéticos em estudos sobre a variabilidade genética intra e interpopulacional e na estimativa da taxa de sementes formadas por fecundação cruzada (taxa de cruzamento ou *outcrossing rate*) em árvores tropicais (O'Malley e Bawa, 1987; O'Malley *et al.*, 1988; Murawski *et al.*, 1990, 1994; Murawski e Hamrick, 1991, 1992 a, 1992 b; Eguiarte *et al.*, 1992; Alvarez-Buylla e Garay, 1994; Hall *et al.*, 1994; Paiva *et al.*, 1994; Boshier *et al.*, 1995; James *et al.*, 1998; Loveless *et al.*, 1998). Em alguns estudos mais recentes tem sido possível, pela análise de paternidade da progênie, quantificar a distância percorrida pelo pólen em sua viagem entre flores de diferentes árvores co-específicas (Nason *et al.*, 1996; Nason e Hamrick, 1997; Chase *et al.*, 1996 a, 1996 b; Loveless *et al.*, 1998).

Alguns padrões gerais têm sido revelados por esses estudos:

1. *Sistema de polinização.* A polinização biótica é predominante entre plantas tropicais, ocorrendo em cerca de 98-99% das espécies (Bawa, 1990). A maior parte das espécies estudadas é polinizada por uma grande diversidade de insetos (abelhas, besouros, borboletas, mariposas, vespas, etc.) e, menos frequentemente, por vertebrados (principalmente beija-flores, morcegos e diferentes grupos de mamíferos não-voadores). Espécies polinizadas por abelhas de grande e médio porte

são as mais frequentes, seguidas por outras polinizadas por mariposas, pequenas abelhas e por outros insetos de pequeno porte (Bawa *et al.*, 1985). As espécies polinizadas por pássaros e borboletas são muito mais frequentes em plantas do sub-bosque e da subcoba do que naquelas cujas flores são exteriorizadas nas copas (Bawa *et al.*, 1985; Bawa, 1990). Esses mesmos autores constataram que cerca de 3% das árvores de uma floresta tropical na Costa Rica são polinizadas por morcegos. Janson *et al.* (1981) encontraram evidências de polinização por mamíferos não-voadores, especialmente marsupiais e primatas, em várias espécies de árvores em florestas tropicais do Peru.

A polinização pelo vento é relativamente rara, podendo ser encontrada em algumas poucas espécies de sub-bosque (Bawa e Crisp, 1980; Bawa *et al.*, 1985 b; Bawa, 1990) ou em formações vegetais monoespecíficas, como as formadas por populações de *Cecropia*, um gênero com várias espécies de hábito pioneiro e colonizadoras de clareiras e ambientes abertos pela ação antrópica (Prance, 1985).

2. *Sistema sexual.* A maioria das espécies tropicais estudadas é hermafrodita (isto é, as funções masculinas e femininas estão presentes em todas as flores dos indivíduos) ou monóica (funções masculinas e femininas em flores separadas, mas ambos os tipos de flores presentes nos indivíduos), mas uma significativa proporção, variando entre 22-26%, é dióica (indivíduos com somente um tipo de flor, masculina ou feminina) (Ashton, 1969; Bawa, 1974; Bawa *et al.*,

1985 a; Zapata e Arroyo, 1978; Bullock, 1985; ver, porém, Ramirez e Brito, 1990, para uma proporção menor de plantas dióicas). A frequência de espécies dióicas no sub-bosque é significativamente menor que aquela encontrada entre árvores da copa (Bawa, 1990).

3. *Sistema reprodutivo.* Ao contrário das previsões de Fedorov (1966), a maior parte das árvores de floresta tropical não produz frutos por autopolinização, ou produz poucos, quando comparada com a frutificação resultante de polinização cruzada (Bawa, 1974; Bawa *et al.*, 1985 a; Zapata e Arroyo, 1978; Chan, 1981; Sobrevilla e Arroyo, 1982; Ramirez e Brito, 1990). Esses resultados reforçam a idéia de

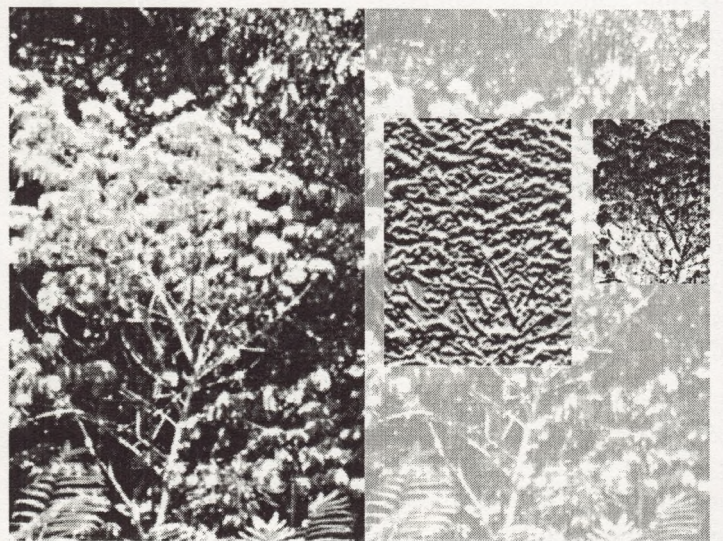
que o movimento de animais polinizadores entre flores de diferentes árvores co-específicas é essencial para a produção de frutos e sementes. No entanto, muitas plantas herbáceas, arbustos e plantas do sub-bosque podem ser autógamas, ou seja, produzir frutos e sementes por autofecundação (Bawa, 1990). A proporção de plantas agamospérmicas (isto é, com propágulos de origem assexual) não é bem conhecida, mas pode ser alta em algumas florestas tropicais (Kaur, 1978; Ramirez e Brito, 1990).

4. *Sistema de cruzamento.* Quase todas as árvores tropicais estudadas até o presente apresentam uma alta taxa de cruzamento ( $t_m$ ), normalmente maior que 80% e, muito freqüentemente, igual a 100% (O'Malley e Bawa, 1987; O'Malley *et al.*, 1988; Murawski *et al.*, 1990, 1994; Murawski

ki e Hamrick, 1991, 1992 a; Eguiarte *et al.*, 1992; Alvarez-Buylla e Garay, 1994; Hall *et al.*, 1994; Boshier *et al.*, 1995; James *et al.*, 1998; Loveless *et al.*, 1998). Isso significa que todas, ou a maioria das sementes, são originadas por fecundação cruzada e que, proporcionalmente, poucas são originadas por autofecundação. As altas taxas de cruzamento encontradas em árvores tropicais são atribuídas à ocorrência comum de adaptações florais eficientes que dificultam a autopolinização e promovem o movimento dos polinizadores entre árvores e a mecanismos de auto-incompatibilidade. No entanto, algumas espécies arbóreas tropicais apresentaram taxa de cruzamento intermediário ( $0.2 < t_m < 0.7$ ) tais como: duas espécies de Bombacaceae neotropicais (*Ceiba pentandra* e *Cavallinnesia platanifolia*), a seringueira

(*Hevea brasiliensis*) e uma Dipteroocarpaceae estudada no Sri Lanka (*Shorea trapezifolia*) (Murawski e Hamrick, 1992 b; Murawski *et al.*, 1994; Paiva *et al.*, 1994). Estudando quatro espécies de *Ficus* no Panamá, Nason e Hamrick (1997) constataram que o pólen de uma determinada árvore pode fecundar os óvulos de outra localizada a 6-14 km de distância. O uso de marcadores moleculares muito polimórficos, denominados SSR (*simple sequence repeats*) ou microssatélites, permitiu a determinação da paternidade das sementes e a quantificação da distância percorrida pelo pólen na árvore *Pithecellobium elegans* (Chase *et al.*, 1996 a, 1996 b).

5. *Dispersão de sementes.* Em virtude de dificuldades práticas de estudos dessa natureza, o conhecimento sobre dispersão de sementes de plantas tropicais é ainda deficiente de abordagens experimentais e de hipóteses unificadoras, uma vez que a maior parte das centenas de estudos disponíveis é baseada apenas em observações sobre frugivoria e remoção de frutos, tendo natureza pontual, intuitiva e especulativa (Howe, 1986). A dispersão biótica parece predominar amplamente sobre a dispersão abiótica efetuada por vento, água ou gravidade (Howe e Vande Kerckhove, 1979; van der Pijl, 1982; Howe, 1986; Stiles, 1989). Aves e mamíferos são os principais dispersores de plantas nos trópicos (van der Pijl, 1982; Janzen, 1983; Howe, 1986), mas a dispersão por répteis e por peixes também pode ser comum (Gottsberger, 1978; Goulding, 1980; van der Pijl, 1982;



Paulo Andrade

# AMAZÔNIA

Stiles, 1989). Alguns frutos tropicais aparentam ter adaptações para serem dispersos por mamíferos pleistocênicos hoje extintos (Janzen, 1981, 1982, 1983; Janzen e Martin, 1982). Formigas também podem ser importantes dispersoras de sementes nos trópicos (Buckley, 1982). Na floresta de terra firme ao norte de Manaus, Lemos (1999) registrou que, entre 382 espécies frutificando, 59% eram endozocóricas (sementes dispersas por animais, passando pelo tubo digestivo), 26% eram sinzocóricas (carregadas por animais, mas sem passar pelo tubo digestivo), 9% eram anemocóricas (dispersas pelo vento) e 4% eram autocóricas (com mecanismo “explosivo” de dispersão).

## BIOLOGIA REPRODUTIVA DE PLANTAS AMAZÔNICAS

A riqueza e a diversidade de espécies vegetais na Amazônia são provavelmente maiores que em qualquer outro bioma do globo. Em contraste, estudos sobre a biologia reprodutiva de plantas amazônicas são

ainda muito escassos, considerando-se a imensa diversidade de espécies, de interações biológicas e de estratégias reprodutivas que ocorre na região. Grande parte dos estudos tem-se concentrado em aspectos descritivos da biologia floral e do comportamento dos polinizadores, em espécies estudadas isoladamente ou em algumas espécies pertencentes a uma mesma família botânica (Braga, 1976; Prance, 1976, 1980, 1985; Prance e Arias, 1975; Prance e Anderson, 1976; Mori *et al.*, 1978; Webber, 1981; Hopkins, 1984; Gottsberger, 1989; Kress e Stone, 1993; Storti, 1988, 1993; Küchmeister *et al.*, 1998; Gribel *et al.*, 1999).

A maior parte da informação sobre o sistema reprodutivo e de cruzamento de árvores neotropicais é derivada de extensivos estudos realizados fora da Bacia Amazônica durante as décadas de 1970 e 1980, especialmente na América Central, em áreas próximas ao limite norte das florestas neotropicais (Bawa, 1974; Bawa e Opler, 1975; Bawa *et al.*, 1985 a, 1985 b).

Esses estudos forneceram importantes dados sobre algumas espécies isoladamente (a maioria das quais também ocorre na Bacia Amazônica) e uma visão geral sobre a biologia reprodutiva das árvores no nível da comunidade florestal. Mais recentemente, o uso de isoenzimas como marcadores genéticos em estudos sobre o sistema de cruzamento e variabilidade genética de populações de árvores neotropicais (O'Malley e Bawa, 1987; Murawski *et al.*, 1990; Murawski e Hamrick, 1991, 1992 a, 1992 b; Alvarez-Buylla e Garay, 1994; Hall *et al.*, 1994; Boshier *et al.*, 1995) tem proporcionado uma nova abordagem sobre como o sistema reprodutivo e de polinização afeta o fluxo gênico e a estrutura genética das populações. Tais informações, apesar de essenciais para embasar políticas de exploração, manejo sustentado e conservação dos recursos florestais, ainda são muito incipientes para as



espécies e populações de plantas da Bacia Amazônica.

Outro aspecto pouco conhecido da biologia reprodutiva de plantas amazônicas refere-se à complexa teia de interações biológicas que ocorre na dispersão de sementes. Estudos sobre dispersão de sementes de árvores amazônicas e florestas tropicais em geral são operacionalmente complexos, o que dificulta a obtenção de dados baseados em experimentação com suficiente amostragem e replicações (ver revisões em van der Pijl, 1982; Janzen, 1983, e em Howe, 1986), como os de certa forma alcançados pelas pesquisas com biologia da polinização e sistema reprodutivo.

Estudos sobre a biologia reprodutiva de plantas amazônicas podem fornecer informações essenciais para a utilização econômica, para o manejo sustentado e para a conservação dessas espécies, bem como dos animais a elas associados

## A riqueza e a diversidade de espécies vegetais na Amazônia são provavelmente maiores que em qualquer outro bioma do globo

e dos ambientes onde elas ocorrem. Alguns exemplos:

1. Para aumentar e melhorar a produção de plantios e/ou de populações espontâneas de fruteiras regionais (como cupuaçu, abiu, sapota, piquiá, pupunha, açaí, buriti, etc.), são necessárias informações sobre os processos que afetam e condicionam a formação dos frutos, tais como: as características da biologia floral e do comportamento do polinizador, o *status* das populações dos polinizadores e seus reflexos na eficiência da polinização, as variações temporais e interindividuais na viabilidade do pólen, a natureza e a intensidade dos mecanismos de auto-incompatibilidade, as consequências da depressão por endogamia, a ocorrência de apomixia, o nível de compatibilidade entre progênies e variedades, as características do sistema reprodutivo e de cruzamento, etc.

Para várias fruteiras regionais de interesse comercial já existem informações sobre a ecologia de polinização e sobre

o sistema reprodutivo, informações estas de importância prática para aumentar a produção de frutos nessas espécies. O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), uma das fruteiras com maior importância econômica na Amazônia, é polinizado por duas espécies de pequenas abelhas silvestres, apresenta baixo índice de polinização natural e é predominantemente auto-incompatível (Venturieri, 1994). O baixo índice de frutificação das flores de cupuaçu pode ser compensado por meio de polinizações manuais, que foram desenvolvidas considerando-se as características da biologia floral da espécie (Venturieri e Ribeiro Filho, 1995). A pupunha (*Bactris gasipaes*) é uma palmeira com frutos comestíveis polinizada principalmente por pequenos besouros curculionídeos (Essig, 1971; Mora Urpí, 1982). Apesar de a pupunha ter estratégias que favorecem a polinização cruzada, apresenta também variados níveis de autocompatibilidade (Clement e Arkcoll, 1984), o

que pode ser importante na seleção de indivíduos para melhoramento e para compor os plantios. A castanha-do-brasil ou castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) é predominantemente auto-incompatível (Moritz, 1984; O'Malley *et al.*, 1988) e polinizada por grandes abelhas silvestres (Müller *et al.*, 1980; Nelson *et al.*, 1985). A conservação das florestas circunvizinhas aos plantios, ou do conjunto de árvores que formam os castanhais nativos, parece ser essencial para a manutenção das populações das abelhas polinizadoras ao longo do ano e, conseqüentemente, para a polinização e a frutificação dessa árvore de grande importância econômica para a região (Prance, 1998).

2. Para explorar de forma sustentada e/ou implantar práticas de manejo e de conservação de espécies florestais de alto valor econômico da terra firme (como mogno, cedro, maçaranduba, angelins, cerejeira, piquiá, etc.) e da várzea (como a sumaúma, ucuuba, açacu, etc.), são essenciais informações sobre: a) a taxa natural de fecundação cruzada; b) a ocorrência de agamospermia; c) a existência de barreiras de auto-incompatibilidade ou de incompatibilidade entre indivíduos geneticamente próximos e d) o alcance do

fluxo de pólen promovido pelo polinizador e o tamanho efetivo das populações. Esses dados são importantes para o manejo florestal, pois visam a compreender se indivíduos remanescentes da exploração, normalmente isolados ou em baixas densidades, serão capazes de se reproduzir e de reiniciar a regeneração dessas espécies. Igualmente relevante para a definição de políticas e estratégias para a conservação dessas espécies é estimar o tamanho efetivo das populações de árvores, bem como compreender como a variabilidade genética está distribuída entre as populações (escala regional ou geográfica) e dentro das populações (escala local).

3. Outra linha promissora de pesquisas, potencialmente aplicável na recuperação de áreas degradadas, refere-se ao estudo da dispersão de sementes de plantas pioneiras que colonizam ambientes perturbados pela ação antrópica. Na Amazônia, bem como nas florestas pluviais da América Central, a colonização dessas áreas é feita por árvores e arbustos pertencentes principalmente aos gêneros *Cecropia*, *Vismia*, *Ficus*, *Trema*, *Laetia*, *Bellucia*, *Goupia*, *Isertia*, *Palicourea*, *Piper* e *Solanum* (Gomez-Pompa *et al.*, 1976; Uhl *et al.*, 1981,

1988; Foresta e Prevost, 1986). As sementes dessas plantas são muito pequenas e geralmente alcançam essas áreas por meio da dispersão endozoocórica promovida por morcegos e/ou aves. Para recuperar ou acelerar a regeneração de áreas degradadas é importante compreender a estratégia de vida, especialmente a estratégia reprodutiva, de plantas pioneiras e secundárias que colonizam esses ambientes. Portanto, compreender a interação das plantas que colonizam espontaneamente áreas degradadas com fauna silvestre associada à dispersão e à predação de sementes, bem como as demandas para germinação e estabelecimento dessas plantas, é requisito essencial para se intervir, acelerar ou direcionar o processo de regeneração de florestas tropicais. \*

#### Rogério Gribel

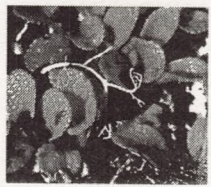
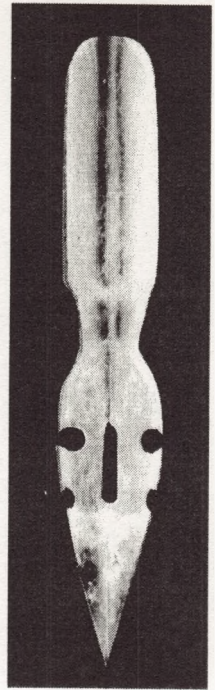
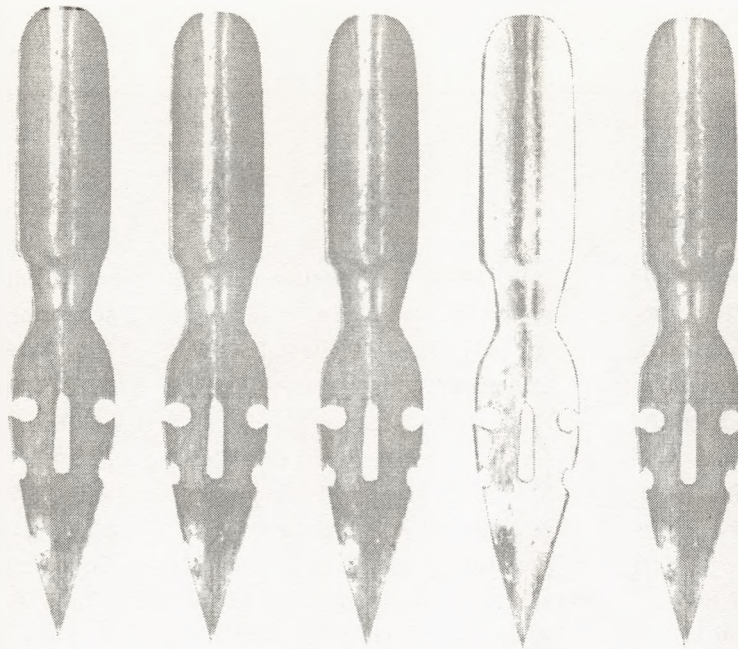
Engenheiro florestal, mestre em Ecologia Vegetal pela Universidade de Brasília e PhD em Biologia e Evolução de Plantas pela Universidade de St. Andrews no Reino Unido. É pesquisador da Coordenação de Pesquisas em Botânica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) em Manaus, Amazonas.

## referências bibliográficas

- ALVAREZ-BUYLLA, E. R., GARAY, A. A. 1994. Population genetic structure of *Cecropia obtusifolia*, a tropical pioneer tree species. *Evolution*, 48: 437-453.
- APPANAH, S. 1981. Pollination in Malaysian primary forests. *Malaysian Forest*, 44: 37-42.
- ASHTON, P. S. 1969. Speciation among tropical forest trees: some deductions in the light of recent evidence. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1: 155-196.
- BAWA, K. S. 1974. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. *Evolution*, 28: 85-92.
- \_\_\_\_\_. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21: 399-422.
- BAWA, K. S., CRISP, J. E. 1980. Wind-pollination in the understorey of a rain forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 68: 871-876.
- BAWA, K. S., OPLER, P. A. 1975. Dioecism in tropical forest trees. *Evolution*, 29: 167-179.
- BAWA, K. S., BULLOCK, S. H., PERRY, D. R., COVILLE, R. E., GRAYUM, M. H. 1985 b. Reproductive biology of tropical lowland rain forest. II. Pollination systems. *American Journal of Botany*, 72: 346-356.
- BAWA, K. S., PERRY, D. R., BEACH, J. H. 1985 a. Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. I. Sexual systems and incompatibility mechanisms. *American Journal of Botany*, 72: 331-345.
- BOSHIER, D. H., CHASE, M. R., BAWA, S. B. 1995. Population genetics of *Cordia alliodora* (Boraginaceae), a neotropical tree. 2. Mating system. *American Journal of Botany*, 82 (4): 476-483.
- BRAGA, P. I. S. 1976. Estudos da flora orquidológica do Estado do Amazonas. 1. Descrição e observação da biologia floral de *Stanhopea candida* Barb. Rodr. *Acta Amazonica*, 6: 433-438.
- BUCKLEY, R. C. 1982. "Ant-plant interactions: a world". Em BUCKLEY, R. C. (ed.). *Ant-plant interactions in Australia*. Dr. W. Junk, Publisher, The Hague, p. 111-142.
- BULLOCK, S. H. 1985. Breeding systems in the flora of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*, 17: 287-301.
- CHAN, H. T. 1981. Reproductive biology of some Malaysian dipterocarps. III. Breeding systems. *Malaysian Forest*, 44: 28-34.
- CHASE, M. R., MOLLER, C., KESSEL, R., BAWA, K. S. 1996 a. Distant gene flow in tropical trees. *Nature*, 383: 398-399.
- CHASE, M. R., KESSEL, R., BAWA, K. S. 1996 b. Microsatellite markers for population and conservation genetics of tropical trees. *American Journal of Botany*, 83: 51-57.
- CLEMENT, C. R., ARKCOLL, D. B. 1984. Observações sobre autocompatibilidade em pupunha (*Bactris gasipaes* H. B. K., Palmae). *Acta Amazonica*, 14 (1-4): 337-342.
- EGUIARTE, L. E., PEREZ-NASSER, N., PINERO, D. 1992. Genetic structure, outcrossing rate and heterosis in *Astrocaryum mexicanum* (tropical palm): implications for evolution and conservation. *Heredity*, 69: 217-228.
- ENDRESS, P. K. 1994. *Diversity and evolutionary biology of tropical flowers*. Cambridge University Press.
- ESSIG, F. B. 1971. Observations on pollination in *Bactris*. *Principes*, 15: 20-24.
- FAEGRI, K., VAN DER PIJL, L. 1979. *The principles of pollination ecology*. 3<sup>a</sup> ed. Pergamon Press.
- FEDOROV, A. A. 1966. The structure of the tropical rain forest and speciation in the humid tropics. *Journal of Ecology*, 54: 1-11.
- FORESTA, H. D., PREVOST, M. F. 1986. Vegetation pionniere et graines du sol en Forêt Guyanaise. *Biotropica*, 18 (4): 279-286.
- GOMEZ-POMPA, A. C., VASQUEZ-YANES, C., DEL AMO, S., BUTANDA CERVERA, A. 1976. *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, Mexico*. Mexico: Companhia Editorial Continental.
- GOTTSBERGER, G. 1978. Seed dispersal by fish in the inundated region of Humaitá, Amazônia. *Biotropica*, 10 (3): 170-183.
- \_\_\_\_\_. 1989. Beetle pollination and flowering rhythm of *Annona* spp. (Annonaceae) in Brazil. *Plant systematics and evolution*, 167: 165-187.

- GOULDING, M. 1980. The fishes and the forest: explorations in Amazonian natural history. Londres: University of California.
- GRIBEL, R., GIBBS, P. E., QUEIRÓZ, A. L. 1999. Flowering phenology and pollination biology of *Ceiba pentandra* (Bombacaceae) in Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 15 (no prelo).
- HALL, P., ORRELL, L. C., BAWA, K. S. 1994. Genetic diversity and mating system in a tropical tree, *Carapa guianensis* (Meliaceae). *American Journal of Botany*, 81: 1104-1111.
- HOPKINS, H. C. 1984. Floral biology and pollination ecology of the neotropical species of *Parkia*. *Journal of Ecology*, 72: 1-23.
- HOWE, H. F. 1986. Seed dispersal by fruit-eating birds and mammals. Sydney, Orlando, San Diego, Nova York, Austin, Londres, Montreal, Tóquio, Toronto: Academic Press.
- HOWE, H. F., KERCKHLOVE, V. 1979. Fecundity and seed dispersal of a tropical tree. *Ecology*, 60: 180-189.
- JAMES, T., VEGE, S., ALDRICH, P., HAMRICK, J. L. 1998. Mating systems of three tropical dry forest tree species. *Biotropica*, 30 (4): 587-594.
- JANSON, C. H., TERBORGH, J., EMMONS, L. 1981. Non-flying mammals as pollinating agents in the Amazonian Forest. *Biotropica*, 13: 1-6 (Reproductive Biology Supplement).
- JANZEN, D. H. 1981. *Enterolobium cyclocarpum* seed passage rate and survival in horses, Costa Rica Pleistocene seed dispersal agents. *Ecology*, 62: 593-601.
- \_\_\_\_\_. 1982. Differential seed survival and passage rates in cows and horses, surrogate Pleistocene dispersal agents. *Oikos*, 38: 150-156.
- \_\_\_\_\_. 1983. "Dispersal of seeds by vertebrate guts". Em FUTUYMA, D. J., SLATKIN, M. (eds.). *Coevolution*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- JANZEN, D. H., MARTIN, S. 1982. Neotropical anachronisms: fruits the gomphotheres ate. *Science*, 215: 19-27.
- KAUR, A., HA, C. O., JONG, K., SANDS, V. E., CHAN, H. T., SOEPADMO, E., ASHTON, P. S. 1978. Apomixis may be widespread among trees of the climax rain forest. *Nature*, 271: 440-442.
- KRESS, W. J., STONE, D. E. 1993. Morphology and floral biology of *Phenakospermum* (Strelitziaceae), an arborescent herb of the neotropics. *Biotropica*, 25: 290-300.
- KUCHMEISTER, H., WEBBER, A. C., SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I., GOTTSBERGER, G. 1998. A polinização e sua relação com a termogênese em espécies de Arecaceae e Annonaceae da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 28 (3): 217-245.
- LEMONS, M. C. 1999. Padrões de frutificação e efeito do corte seletivo de madeira sobre a produção de frutos em uma floresta de terra firme da Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade do Amazonas, 69 p.
- LOVELESS, M. D., HAMRICK, J. L., FOSTER, R. B. 1988. Population structure and mating system in *Tachigali versicolor*, a monocarpic neotropical tree. *Heredity*, 81: 134-143.
- MORA URPI, J. 1982. Polinización en *Bactris gasipaes* H. B. K. (Palmae): Nota adicional. *Revista de Biología Tropical*, 30 (2): 174-176.
- MORI, S., PRANCE, G. T., BOLLEN, A. 1978. Additional notes on the floral biology of neotropical Lecythidaceae. *Brittonia*, 30: 113-130.
- MORITZ, A. 1984. Estudos biológicos da floração e da frutificação da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.). Belém: Embrapa-CPATU (Documentos, 29).
- MÜLLER, C. H., RODRIGUES, I. A., MÜLLER, A. A., MÜLLER, N. R. M. 1980. Castanha-do-brasil; resultados de pesquisa. Belém: Embrapa-CPATU (Miscelânea, 2).
- MURAWSKI, D. A., HAMRICK, J. L. 1991. The effect of the density of flowering individuals on the mating systems of nine tropical tree species. *Heredity*, 67: 167-174.
- \_\_\_\_\_. 1992 a. The mating system of *Cavanillesia platanifolia* under extremes of flowering-tree density: a test of predictions. *Biotropica*, 24: 99-101.
- \_\_\_\_\_. 1992 b. Mating system and phenology of *Ceiba pentandra* (Bombacaceae) in Central Panama. *Journal of Heredity*, 83: 401-404.
- MURAWSKI, D. A., DAYANANDAN, B., BAWA, K. S. 1994. Outcrossing rates of two endemic *Shorea* species from Sri Lanka tropical rain forests. *Biotropica*, 26: 23-29.
- MURAWSKI, D. A., HAMRICK, J. L., FOSTER, R. B. 1990. Mating systems of two Bombacaceous trees of a neotropical moist forest. *Oecologia*, 82: 501-506.

- NASON, J. D., HAMRICK, J. L. 1997. Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: two case studies of neotropical canopy trees. *Journal of Heredity*, 88: 264-276.
- NASON, J. D., HERRE, E. A., HAMRICK, J. L. 1996. Paternity analysis of the breeding structure of strangler fig populations: evidence for substantial long-distance wasp dispersal. *Journal of Biogeography*, 23: 501-512.
- NELSON, B. W., ABSY, M. L., BARBOSA, E. M., PRANCE, G. T. 1985. Observations on flower visitors to *Bertholletia excelsa* H.B. and *Couratari tenuicarpa* A. C. Sm. (Lecythidaceae) *Acta Amazonica*, Supl., 15 (1-2): 225-234.
- O'MALLEY, D. M., BUCKLEY, D. P., PRANCE, G. T., BAWA, K. S. 1988. Genetics of Brasil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.: Lecythidaceae). 2. Mating system. *Theoretical and applied genetics*, 76: 929-932.
- O'MALLEY, D. M., BAWA, K. S. 1987. Mating system of a tropical rain forest tree species. *American Journal of Botany*, 74: 1143-1149.
- PAIVA, J. R., KAGEYAMA, P. Y., VENCONVSKY, R. 1994. Genetics of rubber tree (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Mull. Arg.) 2. Mating system. *Silvae Genetica*, 43: 373-376.
- PRANCE, G. T. 1976. The pollination and androphore structure of some Lecythidaceae. *Biotropica*, 8: 235-241.
- \_\_\_\_\_. 1980. A note on the pollination of *Nymphaea amazonum* Mart. e Zucc. (Nymphaeaceae). *Brittonia*, 32: 505-507.
- \_\_\_\_\_. 1985. "The pollination of Amazonian plants". Em PRANCE, G. T., LOVEJOY, T. E. (eds.). *Key Environments: Amazonia*. Pergamon Press, p. 166-191.
- PRANCE, G. T., ANDERSON, A. B. 1976. Studies of the floral biology of neotropical Nymphaeaceae 3. *Acta Amazonica*, 6: 163-170.
- PRANCE, G. T., ARIAS, J. R. 1975. A study of floral biology of *Victoria amazonica* (Poepp.) Sowerby (Nymphaeaceae). *Acta Amazonica*, 5: 109-139.
- PRANCE, G. T. 1998. "The pollination of three Amazonian plant species of economic importance and its relevance to conservation". Em OWENS, S. J., RUDALL, P. J. (eds.). *Reproductive Biology*. Kew: Royal Botanic Gardens, p. 427-438.
- RAMIREZ, N. 1989. Biología de polinización en una comunidad arbustiva tropical de la alta Guayana Venezolana. *Biotropica*, 21: 319-330.
- RAMIREZ, N., BRITO, Y. 1990. Reproductive biology of a tropical palm swamp community in the Venezuelan llanos. *American Journal of Botany*, 77: 1260-1271.
- SOBREVILA, C., ARROYO, T. K. 1982. Breeding systems in a montane tropical cloud forest in Venezuela. *Plant Systematics and Evolution*, 140: 19-37.
- STILES, E. W. 1989. "Fruits, seeds, and dispersal agents". Em ABRAHAMSON W. (ed.). *Plant-animal interactions*. Nova York: McGraw-Hill.
- STORTI, E. F. 1993. Biología floral de *Mauritia flexuosa* Lin. Fil, na região de Manaus, AM, Brasil. *Acta Amazonica*, 23 (4): 371-381.
- \_\_\_\_\_. Biología floral de *Solanum sessiliflorum* Dun. Var. *sessiliflorum*, na região de Manaus, AM. *Acta Amazonica*, 18 (3-4): 55-65.
- UHL, C., BUSCHBACHER, R., SERRAO, E. A. S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.
- UHL, C., CLARK, K., CLARK, H., MURPHY, P. 1981. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin. *Journal of Ecology*, 69: 631-649.
- VAN DER PIJL, L. 1982. Principles of dispersal in higher plants. 3ª ed. Nova York: Springer-Verlag.
- VENTURIERI, G. A., RIBEIRO-FILHO, A. A. 1995. A polinização manual do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). *Acta Amazonica*, 25 (3-4): 181-191.
- VENTURIERI, G. A. 1994. Floral biology of cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Schumann). PhD thesis, University of Reading, Reino Unido, 211 p.
- WEBBER, A. C. 1981. Alguns aspectos da biologia floral de *Annona sericea* Dun. (Annonaceae). *Acta Amazonica*, 11: 61-65.
- ZAPATA, J. R., ARROYO, M. T. K. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica*, 10: 221-230.



Pedro Andrade

# CRONOBIOLOGIA

E O T E M P O N A B I O L O G I A

## Nelson Marques e Luiz Menna-Barreto

**A**nimaís e plantas mudam conforme o clima, a hora do dia e as estações do ano, espécies surgem e desaparecem, enfim a vida aparece como movimento permanente. Essa dinâmica sem a qual a vida não teria sentido, pelo menos tal como ela aparece para nós, pode ser então considerada como um dos aspectos essenciais da organização dos seres vivos. Admitir o tempo como uma dimensão fundamental da organização da matéria viva implica o reconhecimento de que a matéria viva tem uma história; mais do que isso, implica buscar na história de um animal ou de uma planta uma das determinações fundamentais de seu estado atual. Admitir o tempo como dimensão fundamental significa reconhecer o

caráter determinante que a organização temporal tem sobre a viabilidade das espécies (Cerejido, 1988; Menna-Barreto, 1991; Marques, M. D. *et al.*, 1997). Uma das expressões mais evidentes dessa organização temporal são os ritmos biológicos.

A compreensão da importância da ritmicidade biológica passa por dois momentos. O primeiro deles é a demonstração da generalidade desse fenômeno em praticamente todos os seres vivos estudados em diversos níveis de análise (desde o metabolismo celular até o comportamento de populações). O segundo momento consiste na investigação dos mecanismos orgânicos responsáveis pelos processos de temporização, os chamados “relógios biológicos” (Golombek *et al.*, 1997; Marques, M. D., 1997).

Encontramos ritmos determinados endogenamente em todos os eucariotos e recentemente têm sido demonstrados ritmos em procariotos. A ubiquidade da presença de ritmos biológicos evidencia sua importância fundamental na organização dos seres vivos em geral, além de sugerir uma incorporação muito antiga dessa dimensão do ponto de vista da história da evolução da vida. O termo “incorporação” está sendo utilizado aqui no mesmo sentido que existe em se dizer que os seres vivos “incorporaram” condições ambientais, como a força de aceleração da gravidade.

A integração de fenômenos em diferentes níveis de organização dentro dos organismos e em torno deles, o meio ambiente, ocorre no espaço e, principalmente, no tempo.

Por exemplo, os ritmos das diversas atividades e sistemas fisiológicos estão em uma gama de tempos que vai de frações de segundo a horas. Esses ritmos podem ser modulados pela expressão de outros ritmos. Além disso, diversos desses ritmos, de diferentes sistemas e funções fisiológicas e comportamentais, relacionam-se mutuamente, por meio de processos de integração, com ritmos de outros períodos, por exemplo, com os ritmos infradianos, aqueles com períodos maiores que 28 horas, por exemplo, os de quatro/cinco dias, ou os de aproximadamente trinta dias, como os dos ciclos estrais de ratos ou da menstruação da mulher e de alguns outros primatas superiores. Nos diversos ciclos reprodutivos dos diferentes animais e plantas, vemos que a escala de tempo das inter-relações de frequências torna-se mais e mais ampla. A resolução dessas interações, múltiplas e multivariadas, torna-se um desafio para a elaboração de uma visão integrada do fenômeno biológico. A cronobiologia propõe-se agora não somente a mapear ritmos biológicos, presentes nos diversos níveis e sistemas fisiológicos e comportamentais, seja em função dos diferentes organismos, linhagens, idades, sexos, sistemas, órgãos e organelas, mas também a quantificar as inter-relações entre os componentes de um espectro de ritmos de múltiplas frequências ao longo do desenvolvimento, da maturação e do envelhecimento dos diferentes organismos (Cornélissen *et al.*, 1982; Halberg, 1981; Araújo e Marques, 1997).

#### **BREVE ESBOÇO HISTÓRICO DA CRONOBIOLOGIA E SEUS CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

A cronobiologia (Halberg, 1969) refere-se ao estudo sistemático das características temporais da matéria viva, em todos os seus ní-

veis de organização. Inclui o estudo de ritmos biológicos, como, por exemplo, as oscilações periódicas em variáveis biológicas e as mudanças associadas ao desenvolvimento. O termo “cronobiologia” é de cunhagem recente, tendo surgido na época que marcou a afirmação dessa área do saber como um ramo do conhecimento científico. A cronobiologia como disciplina científica formalizada é essencialmente nova, o que contrasta com a antiguidade das primeiras descrições dos ritmos biológicos, de caráter basicamente fenomenológico.

Desde tempos remotos, os organismos vivos convivem com processos rítmicos no ambiente. Em função da organização de nosso sistema solar, a Terra é submetida a interações envolvendo forças de atração entre os diferentes planetas e corpos celestes. As interações da Terra com o Sol e a Lua, aliadas à inclinação natural de seu eixo, resultam nos ciclos associados com o dia e a noite, com as estações do ano, com as fases da Lua e com a oscilação das marés.

Paralelamente à observação desses ciclos geofísicos, diversos relatos antigos descrevem a repetição e a alternância de eventos na natureza. Como exemplos clássicos, temos as referências encontradas no livro do *Gênesis* e no *Eclesiastes* e os relatos de Hipócrates, Aristóteles, Plínio, Sanctorius e Galeno, na área médica. Em conjunto, essas observações demonstram a importância de ritmos biológicos em plantas, em animais e no homem. Os diversos relatos empíricos descrevendo os ritmos biológicos assumiam, explícita ou tacitamente, que os ciclos ambientais eram as forças dirigentes que estariam por trás dos diversos

# biologia crono

ciclos biológicos (Rotenberg *et al.*, 1997).

Mas, em 1729, o astrônomo francês Jean Jacques de Mairan, utilizando provavelmente uma espécie de *Mimosa*, descreve os movimentos periódicos das folhas em plantas mantidas em um lugar isolado de ciclos ambientais de claro-escuro (*apud* Moore-Ede *et al.*, 1982). Mesmo assim, a planta continuou a movimentar suas folhas regularmente. Essa observação foi seguida por outra comunicação à mesma Academia de Ciências da França, onde Du Fay (1759, *apud* Schildknecht, 1983) afirma explicitamente que a “sensitiva sente o Sol, mesmo sem vê-lo”.

Até o final do século passado, as descrições ou estudos de ritmos biológicos enquadravam-se em duas linhas principais. A primeira inclui relatos de ritmos, predominantemente no homem, em diversas variáveis fisiológicas em condições de saúde e doença. Entre os parâmetros estudados estão o peso corporal, a temperatura corporal e

variáveis associadas à excreção urinária e ao desempenho humano (Rotenberg *et al.*, 1997). A maioria dos ritmos observados refere-se a mudanças diárias, mas há também referência a ritmos mensais e anuais no peso corporal e no volume urinário (Sanctorius, 1657, *apud* Reinberg e Smolensky, 1983).

Uma segunda linha de estudos envolve a manipulação do ambiente por meio da observação dos ritmos em condições ambientais constantes (ou quase constantes). Inicia-se com o trabalho de De Mairan e é realizada principalmente com plantas (Rotenberg *et al.*, 1997). Dentre os poucos trabalhos que se dedicaram ao estudo de ritmos em animais, destaca-se o estudo do ritmo de pigmentação em artrópodos (Kiesel, 1894, *apud* Brown e Webb, 1948). Nessa linha de estudos, já se pode observar uma preocupação com a análise do papel de ciclos ambientais nos diferentes ritmos estudados (Webb *et al.*, 1953; Rotenberg *et al.*, 1997).

Na primeira metade do século XX, essa linha de investigação havia se ampliado para uma grande variedade de organismos: abelhas e outros insetos, crustáceos, coelhos e roedores (Rotenberg *et al.*, 1997). A ubiquidade dos ritmos biológicos em animais e vegetais bem como em diferentes níveis de organização biológica levava à constatação inequívoca de que a ritmicidade era uma propriedade geral da matéria viva (Araújo e Marques, 1997; Marques, M. D. *et al.*, 1997; Marques *et al.*, 1997).

#### PRINCÍPIOS GERAIS DA ORGANIZAÇÃO TEMPORAL

O relato de De Mairan representou a primeira observação formal da persistência de ritmos diários em condições de isolamento temporal, ou seja, na ausência de flutuações nos fatores do ambiente. A descrição, feita à Academia Francesa de Ciências, pode ser considerada o marco inicial dos trabalhos experimentais envolvendo ritmos biológicos, como também a primeira sugestão do possível caráter endógeno da ritmicidade biológica, já que a planta, que era mantida em condição constante de iluminação, ainda assim apresentava alternância cíclica dos movimentos foliares. Esse fenômeno foi mais tarde chamado de *ritmo em livre-curso*.

Cerca de cem anos mais tarde, outra importante demonstração foi feita, desta vez por De Candolle (1835, *apud* Jores, 1975): o ritmo do movimento foliar de uma espécie de sensitiva, a *Mimosa pudica*, variava entre 22 e 23 horas quando a planta era mantida em condições constantes. Na natureza, o ciclo diário claro-escuro (dia-noite), aparentemente forçava a um período de 24 horas exatas

**As interações da Terra  
com o Sol e a Lua,  
aliadas à inclinação  
natural de seu eixo,  
resultam nos ciclos  
associados com o dia e  
a noite, com as estações  
do ano, com as fases da  
Lua e com a oscilação  
das marés**

# t e m p o

---

# RITMOS

para os ritmos biológicos até então observados. Este conceito importante, o dos chamados *circa-ritmos*, foi definido muito claramente apenas em 1959 por Franz Halberg, para os chamados *ritmos circadianos* (*circa*, próximo; *dies*, dia). Esse termo, hoje de uso corriqueiro até mesmo na imprensa diária, foi expandido posteriormente a todos os ritmos com correlatos geofísicos conhecidos, como os ritmos circanuais, circalunares e circamarés.

A possível natureza hereditária de mecanismos (*relógios*) medidores de tempo, que estariam na base desses movimentos periódicos, foi postulada por diversos pesquisadores, como, por exemplo, Pfeffer (1875, *apud* Bünning e Chandrashekar, 1975), Darwin (Darwin e Darwin, 1880) e Kiesel (1894, *apud* Brown e Webb, 1948). No entanto, essa visão, muito avançada para a época, não foi aceita. Diversos outros relatos, como os de Kleinhoonte, em 1929 e 1932, Forsgren, em 1928, Beling, em 1929, Kalmus, em 1934, Welsh,

em 1930 e Lutz, em 1932, apresentam dados adicionais sugerindo o *caráter endógeno e genético* da ritmicidade biológica (Rotenberg *et al.*, 1997). Finalmente, Bünning, em 1935, por meio do cruzamento de plantas de feijão que apresentavam períodos diferentes para os movimentos foliares, demonstra que essa característica era geneticamente determinada. A dissecação genética da ritmicidade biológica, principalmente em relação à frequência circadiana, foi retomada a partir dos anos 1970 pela utilização de técnicas de análise de frequência de mutação gênica em algas, fungos e insetos. Nos mamíferos esses estudos avançaram também pela análise da variação genética de linhagens próximas, principalmente em roedores (Marques *et al.*, 1997). A demonstração da ritmicidade endógena, mesmo em unicelulares menos organizados como as algas cianofíceas, aliada às evidências da base genética da ritmicidade, sugeria que a rotação regular de nosso planeta foi tão marcante ao longo da evolução dos

organismos, que os ritmos associados ao ciclo dia-noite (claro-escuro), agora herdados, devem ter sido “incorporados” muito precocemente na escala filogenética (Marques, M. D., 1997; Marques e Do Val, 1997; Marques, M. D. *et al.*, 1997).

A história da cronobiologia apresenta diversos exemplos de descobertas cuja importância e validade geral só foram reconhecidas muitos anos mais tarde. Um exemplo interessante é o de Antonia Kleinhoonte, que realizou, no fim dos anos 1920, diversos experimentos que trouxeram contribuições decisivas para a compre-

ensão da regulação da expressão dos ritmos endógenos pela alteração da claridade (C/E). Pulsos de luz durante a fase de escuro poderiam ter efeitos diferentes sobre o ritmo de movimentação foliar, em função do momento em que esses sinais eram fornecidos. Assim, ocorria um aumento ou uma diminuição do período do ritmo, “como se o dia tivesse chegado mais tarde ou mais cedo”, respectivamente (Kleinhoonte, 1929, *apud* Schwassmann, 1971). Trabalhos semelhantes a esses só foram retomados na década de 1950 (Bunsow, 1953, *apud* Schwassmann, 1971; Webb *et al.*, 1953; Pitten-

drigh, 1954; Rawson, 1956, *apud* Schwassmann, 1971). Eles permitiram que Rawson formulasse a hipótese pela qual a diferença de responsividade à luz, que dependia do momento em que ela atuava, seria a base para o que é chamado hoje de arrastamento dos ritmos circadianos pelo ciclo claro-escuro. Curvas de respostas de fase completas, hoje chamadas de curvas de resposta dependente de fase – CRF (ou PRC, do inglês *phase response curve*), foram obtidas por Pittendrigh e Bruce em 1957, para os ritmos de eclosão do pupário em uma espécie de *Drosophila* e por De Coursey, em 1960,

para o ritmo de atividade do esquilo-voador. Tais curvas de resposta de fase são hoje conhecidas para uma grande variedade de plantas e animais, para diversos agentes biológicos, físicos e químicos (Johnson, 1990).

Sabemos hoje que, pelo menos para os ritmos circadianos, há um intervalo limite, entre 20 e 28 horas, dentro do qual o período da oscilação endógena pode ser acertado ou sincronizado pelos ciclos ambientais exteriores. Alterações periódicas da intensidade da luz e também ciclos de temperatura podem afetar o período do ritmo biológico. Essas oscilações externas, sincronizadoras dos ciclos endógenos, foram chamadas de *zeitgeber*, por Aschoff (1951, 1954), agentes arrastadores, por Pittendrigh (1960), ou sincronizadores, por Halberg (1960, 1967). Se o período dos agentes externos estiver fora dos limites de sensibilidade, o ritmo endógeno não será acoplado à periodicidade dos ciclos externos e entrará em livre-curso, apresentando um período endógeno que é um pouco diferente daquele observado em condições naturais.

A analogia entre um sistema rítmico e o funcionamento de um relógio não é nova. Nessa analogia, distingue-se o relógio propriamente dito, responsável pela geração da periodicidade biológica, e a expressão aparente dos ritmos, que corresponderia aos “ponteiros” do relógio. O conceito atual de relógio, implicando um sistema de temporização auto-sustentado continuamente oscilante, fundamenta-se na demonstração de estruturas anatomicamente definidas (sistemas fotorreceptivos, neurônios, estruturas neurais, olhos, pineal, núcleos nervosos específicos, como o supraquiasmático, por

## Alterações periódicas da intensidade da luz e também ciclos de temperatura podem afetar o período do ritmo biológico

ciclo

exemplo – Marques, M. D., 1997; Marques, M. D. *et al.*, 1997; Golombek *et al.*, 1997). Atualmente, acredita-se que diferentes sistemas de temporização podem atuar ao mesmo tempo, envolvendo frequências as mais diversas (Araújo e Marques, 1997; Golombek *et al.*, 1997; Marques, M. D., 1997).

Ao longo dos anos, a manipulação do ambiente em laboratório tem permitido caracterizar algumas propriedades dos relógios biológicos. Uma delas, já mencionada, refere-se ao efeito de fatores ambientais sobre o ritmo endógeno, expresso pela curva de resposta dependente de fase. Outra propriedade importante é a relativa independência dos ritmos biológicos, dentro de certos limites, diante de oscilações de temperatura (Bünning, 1958). As evidências experimentais relacionadas a esse item, a *compensação do período à temperatura*, constituem uma das principais características dos diversos sistemas envolvidos na medida do tempo biológico (Marques, M. D. *et al.*, 1997).

Um aspecto importante a respeito dos relógios biológicos circadianos refere-se à sua vinculação com o fotoperiodismo. Desde os trabalhos pioneiros de Garner e Allard, em 1920, em plantas, e os de Marcovitch, em 1924, e de Rowan, em 1926, em animais, há demonstrações de controle foto-

periódico sobre ciclos anuais (Bünning, 1960). Um papel dos relógios circadianos na temporização de eventos em animais foi assumido, já em 1936, por Bünning (Bünning, 1960). Este postulou que haveria uma base fisiológica da indução fotoperiódica no próprio ritmo diário endógeno. Desde então, controles fotoperiódicos de ciclos anuais, como floração, reprodução, diapausa e ciclos migratórios, têm sido demonstrados em grande número de organismos (Pengelley, 1974; Farner, 1985; Gwinner, 1986).

Potencialmente, muitos ciclos físicos, além da oscilação periódica do claro e do escuro, como aqueles de pressão atmosférica, de campos eletrostáticos e eletromagnéticos, poderiam ser, também, *zeitgebers*. Existem demonstrações esparsas dos efeitos de alguns destes sobre os ritmos de roedores (Hastings *et al.*, 1991). Mesmo assim, pouco se sabe a respeito dos mecanismos envolvidos. Ao lado desses, ciclos bióticos são *zeitgebers* importantes para um grande número de espécies, como, por exemplo, o ciclo de floração de algumas plantas sincronizando a atividade de animais visitantes; ou interações do tipo predador–presa, ou, ainda, interações intra-específicas, como comportamentos ligados à reprodução, cuidados com a prole, etc.

O ciclo diário de temperatura é *zeitgeber* importante para plantas

# Diversos fatores sociais são capazes de afetar os ritmos biológicos em livre-curso, tanto em claro constante como em escuro constante



(Sweeney e Hastings, 1960), insetos (Saunders, 1982) e vertebrados pecilotermos (Graham e Hutchison, 1979). Deve ser lembrado que o tamanho do período dos ritmos endógenos desses organismos é praticamente insensível a variações de temperatura, no entanto pulsos de temperatura podem arrastar um ritmo em livre-curso ou, então, deslocar a fase do ritmo arrastado. Do mesmo modo como acontece com pulsos de luz, é possível construir uma CRF usando pulsos de temperatura alta ou baixa. O tamanho dos deslocamentos vai depender da fase de administração do pulso (Zimmerman *et al.*, 1968), que pode causar adiantamentos ou atrasos de fase (Chandrasekaran, 1974; Roberts, 1962; Zimmerman *et al.*, 1968). Chiba *et al.* (1993) observaram arrastamento do ritmo de atividade por um ciclo de temperatura. Além disso, mostraram que pulsos de temperatura causam deslocamentos de fase desse ritmo e sugerem que generalizações feitas a partir de estudos de arrastamento fótico aplicam-se também ao arrastamento térmico.

Observações na natureza do comportamento de diversas espécies de pecilotermos e de plantas apontam para a importância do ciclo de temperatura. A cobra *Natrix*

*sipedon* tem hábitos predominantemente diurnos na temperatura de 17,8 °C, mas passa a noturnos na temperatura de 33,9 °C (Heckrotte, 1962). A emergência do mosquito *Chironomus thummi* ocorre durante o dia, quando a temperatura é de 9-12 °C, mas é atrasada até o início da noite em temperaturas acima de 16 °C. Para homeotermos, a temperatura ambiente é, em geral, um *zeitgeber* fraco (Sulzman *et al.*, 1977; Aschoff e Tokura, 1986; Francis e Coleman, 1988). Essas evidências mostram que a importância dos ciclos de temperatura no arrastamento dos ritmos de diversas espécies não foi suficientemente explorada e está longe de ser entendida.

Diversos fatores sociais são capazes de afetar os ritmos biológicos em livre-curso, tanto em claro constante como em escuro constante. Se bem que os estudos de arrastamento por fator social sejam mais difíceis de quantificar que aqueles suscetíveis a um *zeitgeber* de natureza geofísica (Moore-Ede *et al.*, 1982), existem fortes evidências de que em várias espécies a interação social é capaz de arrastar os ritmos de atividade (Regal e Connolly, 1980). Um dos primeiros estudos a respeito foi realizado por F. Halberg e colaboradores (1954), que demonstraram que os

ritmos de eosinófilos em ratos cegos eram sincronizados pela presença de ratos intactos.

Existem numerosas evidências de que os ritmos em livre-curso de aves, peixes e mamíferos, humanos inclusive (Marques, M. D. *et al.*, 1997), sincronizam-se entre si, alcançando períodos semelhantes e relações de fase estáveis. Um importante exemplo dessa sincronização é o observado entre a mãe e suas crias, em mamíferos. Durante a gestação, o feto recebe informação temporal por meio da placenta, aparentemente por meio da secreção do hormônio da pineal (melatonina) da mãe, uma vez que a remoção da pineal ou do núcleo supraquiasmático materno influencia a fase de diversos ritmos, tanto do feto como do recém-nascido (Reppert e Schwartz, 1986). No momento do nascimento, a cria é sincronizada principalmente por ciclos de presença/ausência materna (Andrade *et al.*, 1997). Também existem evidências de que, durante a lactação, os filhotes recebem sinais sincronizadores e, novamente, o candidato provável a esse papel é o hormônio melatonina.

Os estudos de N. Mrosovsky sobre sincronização não-fótica representaram uma reviravolta na pesquisa cronobiológica (Mrosovsky, 1988). Muitas manipulações de

rotina em animais de laboratório, tais como mudança de gaiola, apresentação de novos estímulos para a atividade, manipulação dos animais (inclusive manuseá-los para a administração de drogas ou placebos), têm efeitos importantes sobre o sistema circadiano de mamíferos (Mrosovsky *et al.*, 1989; Mrosovsky e Salmon, 1990; Mrosovsky, 1995).

As conseqüências desses fenômenos de sincronização e deslocamento de fase não-fóticos são múltiplas em mamíferos. As evidências descritas aqui indicam que o relógio circadiano é suscetível a processos de retroalimentação mediante a manipulação da atividade locomotora dos animais. Ainda que não seja conhecida a natureza

neuroquímica da via de ligação dos estímulos não-fóticos aos núcleos supraquiasmáticos, foi sugerido que, nos mamíferos, essa informação chegaria pela conexão desses núcleos com o folheto intergeniculado, que é a parte intermediária do corpo geniculado lateral do tálamo (Golombek *et al.*, 1997).

Por fim, o fato de que os estímulos não-fóticos, particularmente a retroalimentação da atividade sobre o relógio circadiano, têm efeitos importantes sobre os ritmos diários permite a especulação a respeito do seu possível significado ecológico. Na década de 1970, Aschoff e Wever (1976) já haviam sugerido que, na espécie humana, a interação social deveria ter papel relevante na sincronização dos indivíduos. As tentativas para esclarecer o mecanismo de ação desse tipo de arrastamento envolveram diversas espécies, e muitas hipóteses foram formuladas. Conjuntamente com a sincronização diária produzida, ao menos em animais noturnos, pelos pulsos de luz ao amanhecer e anoitecer, uma hipótese interessante a ser explorada consiste em que os estímulos sociais, tanto intra como interespecíficos, funcionariam como outro canal, utilizando sua própria CRF, para a expressão de ritmos de exatamente 24 horas, baseados em osciladores internos cujo período difere ligeiramente de 24 horas. Esses osciladores devem ser ajustados diariamente para manter uma relação de fase adequada com os ritmos geofísicos e o ecossistema que rodeia o portador de tais relógios e ritmos.

Antes mesmo da formalização de conceitos cronobiológicos, sabia-se do papel temporizador que a oferta de alimento podia representar. As primeiras observações nesse senti-

do foram feitas por von Buttel-Reepen em 1900 e por Forel em 1910, trabalhando com abelhas, quando se mostrou que elas possuem um "sentido temporal" ou "memória temporal", que lhes permite procurar alimento na hora adequada, todos os dias (Marques, M. D. *et al.*, 1997). Meyer-Peters (1993) também detectou uma influência do ciclo de alimentação sobre a atividade locomotora, dessa vez de um inseto não-social, o besouro *Carabus auronitens*. Nesse caso, o momento da alimentação parece causar uma supressão passageira da locomoção, provocada pela imobilização dos insetos sobre o alimento. O efeito sincronizador do ciclo de alimentação manteve-se somente durante três ou quatro dias.

De maneira diversa da que acontece nos insetos, a influência da disponibilidade de alimento é percebida também em roedores, marsupiais e outros mamíferos (Hastings *et al.*, 1991). Ratos antecipam o momento da disponibilidade de alimento por meio do aumento de atividade locomotora, que é acompanhado pela elevação da temperatura corpórea, da motilidade gastrointestinal e por outras medidas fisiológicas (Boulos e Terman, 1980). Analisando este e outros dados em outras espécies de mamíferos, que mostram reação semelhante à oferta cíclica de alimento, Aschoff (1986) insiste em que se trata de "atividade antecipatória", que na maioria dos casos é impossível caracterizar como arrastamento em face dos resultados disponíveis. Os dados de Stephan (1984) mostram que há uma vinculação do fenômeno de antecipação ao sistema circadiano. Nos seus resultados acontece uma ressincronização da antecipação após um deslocamento de

fase do ciclo de alimentação. A vinculação da antecipação com os ritmos circadianos foi confirmada no primata *Saimiri sciureus* (Aschoff e von Goetz, 1986), em que a antecipação não ocorre sem prévio arrastamento ao CE.

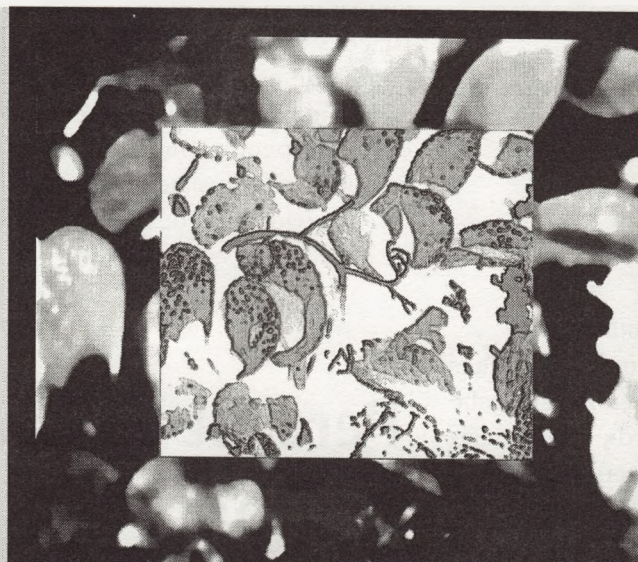
Se por um lado a demonstração generalizada dos ritmos endógenos foi um marco no desenvolvimento da cronobiologia, por outro lado sua importância tem cedido espaço a uma visão dos ritmos biológicos como expressão conjunta de fatores endógenos e exógenos, justamente por já se ter ultrapassado a divergência inicial sobre a origem endógena ou exógena dos ritmos. A importância crescente atribuída aos fatores externos na expressão dos ritmos biológicos pode ser exemplificada por meio dos diferentes significados do termo “mascaramento”, de emprego bastante generalizado na cronobiologia. O termo referia-se originalmente a fatores ambientais que, além de atuar sobre o relógio biológico, também podiam ter uma influência direta sobre a variável rítmica (Aschoff, 1960). É um termo que reflete uma visão do ritmo endógeno como o “verdadeiro” ritmo, que poderia ser obscurecido ou mascarado pelo fator externo. Atualmente, há uma tendência crescente na literatura a considerar não só a influência direta de fatores externos na manifestação dos ritmos, como também aspectos mais complexos do mascaramento, entre os quais os decorrentes de interações entre os diferentes ritmos dentro do organismo (Waterhouse e Minors, 1988; Minors e Waterhouse, 1989; Marques, M. D. *et al.*, 1997).

Um aspecto bastante interessante da visão integrada de fatores internos e externos corresponde à

observação de que as diversas funções em um dado organismo não só se sincronizam ao ambiente externo, mas também tendem a se encadear temporalmente umas em relação às outras. Isso se traduz por uma relação de fases estável entre diferentes ritmos, que caracteriza a “ordem temporal interna” que requer o acoplamento de ritmos endógenos. Tal organização pode ser rompida sob certas condições ambientais atípicas, o que é altamente prejudicial ao crescimento e à longevidade de diferentes espécies (Pittendrigh e Minis, 1972; Saunders, 1976 e 1982). Na espécie humana, a alteração frequente dos sincronizadores externos, como ocorre em pes-


soas que trabalham em turnos alternantes ou fazem viagens transmeridianas rápidas, provoca também essa desorganização dos ritmos (Moreno *et al.*, 1997).

A compreensão da ritmicidade biológica, portanto, não passa apenas pela avaliação de ritmos isoladamente, como tem sido feito frequentemente. Envolve a interação de frequências, com ou sem correlatos geofísicos (Halberg *et al.*, 1979; Araújo e Marques, 1997), bem como processos temporais de desenvolvimento, crescimento, maturação e amadurecimento, ou seja, todos os aspectos ontogenéticos e filogenéticos da organização biológica (Andrade *et al.*, 1997; Marques, M. D. e Do Val, 1997).



Paulo Andrade

# MASCARAMENTO



vez mais evidente. De qualquer forma, uma valorização crescente da datação precisa dos eventos aparece como consequência – ao escrever um artigo científico hoje você precisa explicitar a hora do dia e, eventualmente, a estação do ano nas quais suas observações foram realizadas, sob pena de ver seu artigo voltar para revisão com esse tipo de exigência (Garfield, 1988).

Percebe-se na literatura científica contemporânea uma tendência a se valorizar cada vez mais uma leitura dinâmica dos fenômenos biológicos, nos quais as modificações de comportamento de sistemas e as oscilações, por exemplo, passam a ser objeto de estudo enquanto tal, deixando de ser flutuações a ser controladas. A expansão de estudos ontogenéticos na atualidade e o interesse renovado por aspectos filogenéticos e comparativos de sistemas biológicos são evidências desse impacto.

Certamente, essas consequências não se devem exclusivamente à cronobiologia, mas sem dúvida encontram correspondência estreita com a afirmação cronobiológica da importância da dimensão temporal dos fenômenos biológicos. Na verdade, essa correspondência fala da contemporaneidade da cronobiologia.

Observar a matéria viva em função do tempo significa um avanço na compreensão de fenômenos biológicos. Podem-se observar ritmos biológicos em diversos níveis de organização da matéria viva, desde o molecular até o nível dos ecossistemas. Atualmente, é muito difícil demonstrar um fenômeno biológico que não esteja associado ou nem seja influenciado por oscilações biológicas (Koukkari, 1988). Pode-se dizer, portanto, que é impossível ignorar que oscilações observadas em fenômenos biológicos podem ocorrer em intervalos regulares e são previsíveis

#### **APLICAÇÕES DA CRONOBIOLOGIA**

Antes da descrição de aplicações específicas da cronobiologia, cabe uma consideração de caráter mais geral sobre o impacto dessa nova área sobre conceitos básicos da biologia. Em primeiro lugar, a inclusão da dimensão temporal dos eventos vitais como categoria fundamental para a compreensão desses eventos tem consequências sobre todas as áreas da biologia. Essas consequências podem ser vistas tanto em seu aspecto positivo, que é aquele do enriquecimento de nossas análises pela entrada de mais um conjunto de informações, quanto em suas conotações negativas, nas quais a crítica a uma visão atemporal dos fenômenos biológicos se impõe de forma cada

**Percebe-se na literatura científica contemporânea uma tendência a se valorizar cada vez mais uma leitura dinâmica dos fenômenos biológicos**

## O custo orgânico e comportamental de uma tarefa escolar não é o mesmo nas diferentes horas do dia, e modificações de programas levando em consideração esse fator têm sido testadas com sucesso

no tempo. O reconhecimento da ritmicidade biológica levou a comunidade científica a considerar alguns pressupostos cronobiológicos na elaboração do planejamento de pesquisas. Há ainda em algumas áreas do meio científico, em alguns setores da medicina, por exemplo, uma relutância nesse sentido (Martins *et al.*, 1994). A dificuldade em admitir alguns pressupostos cronobiológicos pode ser explicada pela resistência em reavaliar o conceito de homeostasia, o qual dá margem à suposição segundo a qual toda variação é uma perturbação do sistema biológico (Menna-Barreto e Marques, 1988; Rotenberg *et al.*, 1997).

A cronobiologia tem contribuído para o planejamento das pesquisas,

principalmente em dois momentos: na coleta dos dados e na análise dos resultados obtidos. A ritmicidade da variável em estudo obriga o pesquisador a redesenhar o seu planejamento experimental. Em estudos de campo, por exemplo, o registro do instante em que a observação está sendo realizada tornou-se uma variável de controle a mais para o pesquisador. O ciclo atividade-reposo do animal observado deve ser levado em conta no planejamento do protocolo de observação, no intuito de evitar distorções no curso da pesquisa, aumentando a probabilidade de erro nos resultados. No laboratório também convém o controle de variáveis como a iluminação e a temperatura a que foram submetidos

os sujeitos experimentais do estudo no biotério.

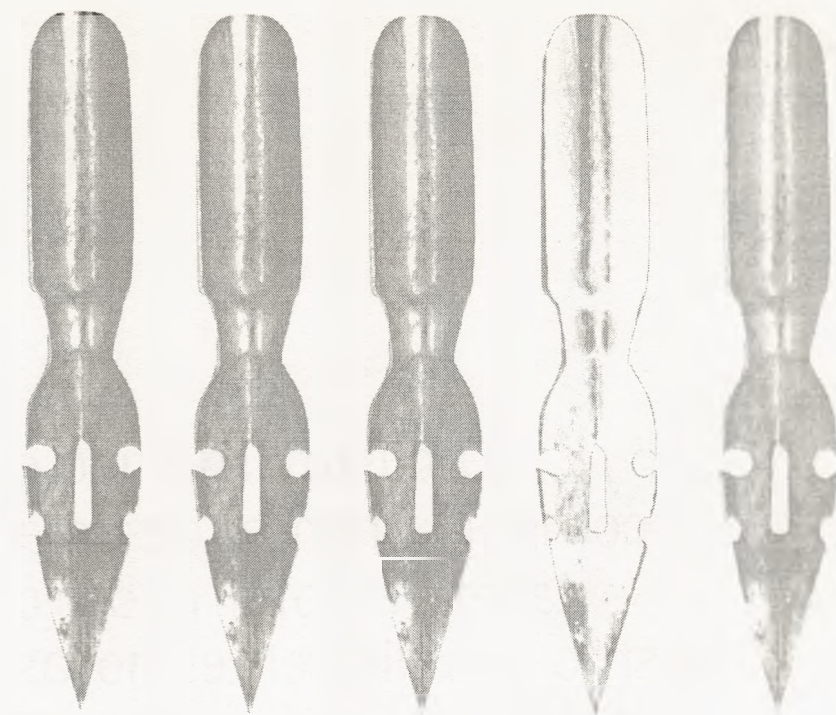
O reconhecimento de uma estrutura temporal em organismos vivos implica uma nova leitura da análise e da interpretação dos resultados de um experimento. Estudos experimentais com protocolos cronobiológicos têm produzido valores de referência mais precisos de alguns parâmetros biológicos tradicionalmente pesquisados. A tecnologia que permitiu a monitoração de muitos desses parâmetros foi definitiva para comprovar a importância da interação de fatores ambientais e fatores endógenos na adaptação de seres vivos ao seu meio. A cronobiologia contribuiu também para motivar a inovação tecnológica na pesquisa científica, o que permitiu a monitoração contínua de variáveis de interesse.

A cronobiologia tem trazido informações importantes para se efetuar uma reorganização das atividades sociais tendo como parâmetro importante o tempo. O planejamento das atividades escolares pode (e deve) ser visto de um prisma cronobiológico. Isso significa organizar atividades de modo que contemplem momentos de maior ou menor rendimento nas tarefas escolares, seja do ponto de vista dos alunos como dos professores. O custo orgânico e comportamental de uma tarefa escolar não é o mesmo nas diferentes horas do dia, e modificações de programas levando em consideração esse fator têm sido testadas com sucesso (Crépon, 1983; Testu, 1991). Talvez um exemplo de uma idiosincrasia cronobiológica bem comum nas nossas escolas possa servir como ilustração desse ramo de aplicação da cronobiologia. Trata-se do fenômeno de mudança de horários

escolares da tarde para a manhã quando as crianças atingem a 5ª série do ensino fundamental. Além do impacto do aumento do número de professores e matérias, as crianças passam a acordar bem cedo para começar as aulas às 7h ou 7h30 da manhã, quando estavam acostumadas a entrar na escola às 13h. Acontece que nessa faixa etária (10-12 anos), há evidências de uma modificação dos hábitos diários para horários um pouco mais tardios, aumentando portanto o custo da mudança para essas crianças; nesse caso, a recomendação cronobiológica seria alterar os horários no sentido inverso, da manhã para a tarde.

Um aspecto particular da atividade escolar que merece atenção especial é a avaliação do desempenho dos alunos. Além das oscilações regulares do desempenho humano em geral conhecidas há quase trinta anos (Colquhoun, 1971) e que devem ser levadas em consideração na programação de provas e testes, devemos ter em mente que as crianças estão em momentos distintos de desenvolvimento de acordo com a faixa etária, de modo que os dados gerais sobre ritmos de desempenho de adultos precisam ser qualificados para outras faixas etárias (Andrade *et al.*, 1997).

A organização da produção de bens e serviços ignora os limites temporais impostos pela alternância natural do dia e da noite. Há quase três séculos, o médico italiano Ramazzini (1700), Pai da Medicina do Trabalho, em seu livro *De morbis artificum*, chamava a atenção para a inversão do horário de trabalho de padeiros e suas nefastas conseqüências para a saúde. A luz elétrica e a disponibilidade contínua de energia romperam



Paulo Andrade

## ATIVIDADES

definitivamente as barreiras para a implantação generalizada do trabalho contínuo, além do horário diurno. A sociedade moderna, heterogênea em seu desenvolvimento e qualidade de vida que oferece a seus cidadãos, possui entretanto um traço comum: o trabalho em horários não-diurnos e a sua continuidade ao longo dos dias estabelecidos normalmente como os de descanso semanal. Não importam, na implantação de atividades de trabalho, os limites determinados pelos ritmos biológicos. São esquecidas, ou não prioritárias, as necessidades individuais de convívio social, estritamente dependentes da alocação do tempo livre dos trabalhadores em períodos compatíveis com os da sociedade. Estabelecidos os turnos de trabalho diurnos e noturnos, prescritos

por necessidades técnicas, econômicas e sociais, organizam-se escalas de trabalho que garantam a continuidade da produção ou da prestação dos serviços. Inserem-se nessas categorias instituições tradicionalmente presentes e absolutamente indispensáveis em todas as sociedades: hospitais, centros de telecomunicações, polícia, bombeiros, serviços hospitalares, estações de tratamento de água, serviços de eletricidade, etc. Mais modernamente, surgiram os centros de processamento de dados bancários e estabelecimentos comerciais que atendem a usuários à procura de medicamentos, alimentos, combustíveis e outros tipos de bens de consumo. Na indústria, empresas de turnos contínuos, como de fundições de metais, químicas, petroquímicas, petróleo,

Quebram-se dessa forma tradicionais costumes entre a população rural: a invasão do tempo de trabalho em períodos de repouso. A imagem bucólica do fazendeiro que acordava antes de o sol nascer e se recolhia ao lar ao pôr-do-sol vai gradativamente cedendo lugar ao trabalhador em turnos, que vai trabalhar a qualquer momento do dia ou da noite, segundo escala de turnos de trabalho determinada pelo seu empregador. O caráter sazonal da carga de trabalho transforma-se, modernamente, na realização de jornadas de trabalho modificadoras da ordem biológica interna, dos costumes sociais, das relações familiares.

A contribuição da cronobiologia para a saúde das populações envolvidas nessas situações de trabalho pode ser dividida em dois momentos: o primeiro é o de propor intervenções imediatas na organização do trabalho, e o segundo é o de continuar fornecendo subsídios para a compreensão das perturbações biológicas sofridas pelos trabalhadores. Como propostas de intervenções nos locais de trabalho, podem-se citar: 1) a velocidade de rotação dos turnos (escala ideal parece ser aquela em que há o menor número de noites consecutivas de trabalho e o maior número de folgas (Corlett *et al.*, 1988); 2) o sentido de rotação dos turnos (a tolerância ao sentido horário (noite→manhã→tarde→noite) pode ser explicada pela maior facilidade de ajuste dos ritmos biológicos a períodos superiores a 24 horas). Isso ocorre porque os períodos endógenos (sem influência de sincronizadores ambientais) dos ritmos circadianos humanos são maiores que 24 horas (Wever, 1979); 3) a jornada diária (inclui duração e horário de trabalho) e o

horário de início das jornadas matutinas devem ser compatíveis com a duração do sono noturno. Jornadas iniciadas muito cedo podem provocar redução na duração do episódio de sono noturno, especialmente dos estágios de sono paradoxal, que ocorrem com maior frequência, e duração nas últimas horas de sono (Fischer *et al.*, 1987; Knauth *et al.*, 1980). Foi também verificado que os turnos matutinos podem provocar acidentes de trabalho, especialmente aqueles que se iniciam em horários que provocam significativa redução do sono noturno. E o que dizer do desempenho no trabalho realizado durante o período da tarde, após a refeição? A sonolência, potencializada por dietas ricas em carboidratos e gorduras, sentida por todos que devem manter-se alerta, associada à praticamente erradicada pausa para o sono da tarde, também provoca quedas no alerta, podendo

cimento, vidro, entre tantas outras, não podem parar e funcionam ininterruptamente 24 horas por dia, sete dias por semana. Pressões de demanda de vendas, tradicionais à época natalina, estendem também serviços dos estabelecimentos, que permanecem abertos durante horários não-diurnos (Fischer, 1990; Rutenfranz *et al.*, 1989).

Até bem recentemente, o trabalho rural era realizado predominantemente somente em períodos coincidentes com a iluminação natural. Nas últimas décadas, entretanto, a agroindústria comporta-se como uma empresa urbana, no que diz respeito ao tempo alocado para o trabalho contínuo. As colheitas de importantes culturas, como a cana-de-açúcar e a soja, fazem-se ininterruptamente ao longo das 24 horas diárias, por vários meses.

# A saúde do trabalhador terá muito a ganhar com a aplicação de princípios cronobiológicos na avaliação dos riscos e dos efeitos sobre a saúde causados pelos estressores ambientais e ocupacionais

interferir na segurança dos trabalhadores (Folkard, 1983; Monk, 1990).

Alguns dos fatores intrínsecos aos indivíduos que também contribuem para a adaptação ao trabalho estão descritos em seguida: 1) caráter de matutividade/vespertinidade: alguns estudos indicam que os tipos vespertinos ajustam-se melhor ao trabalho noturno. Dessa forma, essa característica da ritmicidade biológica humana poderia ser considerada como um fator de predição à tolerância ao trabalho em turnos (Folkard e Monk, 1981; Hildebrandt e Stratmann, 1979); 2) amplitude dos ritmos biológicos: existem diferenças individuais em relação à amplitude de diversos ritmos, especialmente no ritmo da temperatura oral. Em estudo conduzido por Reinberg *et al.* (1978), verificou-se que um ajuste rápido a uma nova situação temporal de trabalho está associado a uma diminuição da amplitude do ritmo de temperatura oral; 3) idade: o envelhecimento está associado a dificuldades na adaptação de indivíduos ao trabalho em turnos (Reinberg *et al.*, 1980).

O conhecimento dos ritmos biológicos permite prever resultados de desempenho no trabalho, quando este é executado em diferentes períodos do dia e da noite. Trazem esses estudos possibilidades de intervenção ergonômica, especialmente nos momentos mais críticos de queda no desempenho, ou na vigília, podendo ser contornadas situações de risco nos locais de trabalho (Moreno *et al.*, 1997).

A saúde do trabalhador terá muito a ganhar com a aplicação de princípios cronobiológicos na avaliação dos riscos e dos efeitos sobre a saúde causados pelos estressores ambientais e ocupacionais, e a partir daí no estabelecimento de legislação apropriada que proteja a saúde. Usualmente, a exposição ocupacional a substâncias tóxicas é controlada por limites de tolerância, que visam proteger o trabalhador contra agravos do ambiente de trabalho. Esses limites são implantados e regidos por normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho. Um grande número de estudos já evidenciou que os componentes celulares responsáveis pela elaboração de enzimas

envolvidas no metabolismo e na desintoxicação apresentam ritmicidade circadiana (Smolensky e Reinberg, 1990). Apesar de já serem conhecidas as variações rítmicas de concentração dos xenobióticos, dos componentes cinéticos e dinâmicos dos sistemas biológicos, os limites de tolerância são representados por um valor fixo para cada substância. Não são levadas em conta as variações circadianas dos sistemas biológicos que interagem com os agentes químicos, físicos e biológicos que causam efeitos na saúde, nem a hora da exposição. Revisão sobre o tema dos riscos químicos e o trabalho em turnos, realizada por Lieber (1991), mostrou que o horário de trabalho é uma variável interveniente no efeito tóxico causado pelas substâncias químicas. Embora a maioria dos efeitos crono-tóxicos tenha sido observada em experimentos animais, pois não se realizaram estudos epidemiológicos para evidência de cronotoxicidade, é plausível supor que sejam esperadas diferenças significativas na dose-resposta segundo o momento da exposição.

A cronobiologia convida para uma reflexão sobre os aspectos temporais das doenças, seja usando a hora do dia como um dos critérios na formulação de diagnósticos, seja propondo temporização mais eficiente na terapêutica, conforme veremos em seguida por meio de alguns exemplos. Além disso, uma outra ordem de questões surge com o reconhecimento da cronobiologia: trata-se de distúrbios dos próprios sistemas de temporização orgânica, ou seja, doenças dos “relógios”.

A quantificação da variabilidade dos batimentos cardíacos, tendo em vista a dimensão temporal, pode facilitar o reconhecimento precoce de aumento do risco de distúrbios cardiovasculares (Cornélissen *et al.*, 1990).

A aplicação da cronobiologia na avaliação da pressão sangüínea, por exemplo, pode ter utilização em saúde pública, estabelecendo variações normais entre populações de indivíduos de diferentes faixas etárias e sexo. No âmbito individual, o diagnóstico e o tratamento de valores desviantes da

pressão sangüínea podem ser avaliados com maior precisão utilizando-se as características dinâmicas da pressão, ou seja, sua medida contínua ao longo de um determinado período de tempo (de 24 a 48 horas ou mais) do que somente em alguns pontos isolados, como é normalmente determinado pelo exame clínico tradicional. Diagnósticos de falsos-positivos ou falsos-negativos podem levar a um procedimento inadequado em relação aos cuidados com um paciente.

A demonstração básica da cronobiologia segundo a qual o estado dos organismos varia regularmente ao longo do tempo certamente tem implicações importantes sobre os efeitos de drogas, tanto em organismos sadios como em doentes. As aplicações da cronobiologia no campo da ação dos fármacos em geral acabaram gerando uma área com nome próprio: a cronofarmacologia.

A frequência e a intensidade das manifestações a alérgenos (como o aumento da resistência e da reatividade das vias aéreas a aerossóis, poeiras, histamina-ace-

tilcolina, as crises de asma e dispnéia), a incidência de episódios agudos de doenças (como o infarto do miocárdio, a hemorragia intracerebral espontânea, o infarto cerebral), assim como a dosagem de drogas para induzir respostas satisfatórias e tratar estados patológicos, têm eficácia diferencial segundo o horário do dia ou da noite e o momento da administração dos medicamentos aos pacientes (Smolensky e D'Alonzo, 1988; Smolensky e Reinberg, 1990).

A cronoterapêutica otimiza os efeitos benéficos e/ou controla efeitos indesejáveis gerados pela administração de medicamentos utilizando como referência os ritmos biológicos (Reinberg e Smolensky, 1983). Como exemplos desses medicamentos, podem-se citar: os antiinflamatórios não-esteróides, a teofilina, os anti-histamínicos, os corticosteróides, entre outros (Smolensky e Reinberg, 1990).

A toxicidade e/ou a eficácia de mais de vinte agentes anticancerígenos no tratamento de tumores é dependente da temporização

A aplicação da cronobiologia na avaliação da pressão sangüínea, por exemplo, pode ter utilização em saúde pública, estabelecendo variações normais entre populações de indivíduos de diferentes faixas etárias e sexo

# O conhecimento de uma organização temporal de animais e plantas tem gerado um grande impacto também na agricultura e na pecuária

metabolis

circadiana na sua administração. Os tratamentos utilizam protocolos cronoterapêuticos, individualizados, e tentam ajustar a dosagem das drogas aos ritmos biológicos do hospedeiro e do crescimento tumoral. Esse tipo de tratamento tem como finalidades reduzir a toxicidade das drogas, administrando-as durante períodos de maior tolerância dos indivíduos a estas, e aumentar a eficácia destas contra o tumor (Hrushesky, 1985, 1988, 1990; Levi, 1988).

A existência de mecanismos de temporização, os chamados “relógios biológicos”, abre a possibilidade lógica de perturbações em seu funcionamento, constituindo o que poderíamos chamar de “doenças dos relógios” ou ainda “doenças temporais”. Diversas evidências vêm-se acumulando nesse sentido, sendo mais conhecidos os casos de quadros psiquiátricos como a depressão endógena ou as

doenças afetivas sazonais (*seasonal affective disorders*) (Zerssen, 1988; Wehr, 1988). Essas doenças manifestam-se muitas vezes por perturbações iniciais de ritmos biológicos, como o ciclo vigília/sono, produzindo quadros identificados pelos pacientes como insônia ou sonolência diurna excessiva; em muitos desses casos, o reajuste da ritmicidade tem-se mostrado eficiente na remissão dos sintomas depressivos. Diferentes técnicas de manipulação da ritmicidade biológica têm sido tentadas na prática clínica, como a “reeducação dos relógios” descrita por Moore-Ede *et al.* (1982), que consiste no acompanhamento e no reajuste das relações de fase entre o ciclo vigília/sono e os ciclos ambientais, o uso de substâncias endógenas como a melatonina (Blehar e Lewy, 1990) e a aplicação de “banhos de luz intensa” (Blehar e Lewy, 1990; Czeisler *et al.*, 1990; Costa *et al.*, 1993).

O conhecimento de uma organização temporal de animais e plantas tem gerado um grande impacto também na agricultura e na pecuária. O estudo de ecossistemas agrícolas não pode prescindir da compreensão de como os animais e as plantas se comportam em função do tempo. Além disso, a produção agrícola tem sofrido os efeitos do uso indiscriminado de produtos químicos como fertilizantes e pesticidas, os quais levam a um aumento de resíduos químicos nos produtos agrícolas e solo (Figala e Tester, 1990). A organização temporal do metabolismo das plantas é fundamental para a produtividade agrícola, assim como para a preservação do ambiente. A produtividade é influenciada por várias funções fisiológicas que estão sincronizadas com condições ambientais. Dessa forma, condições ambientais desfavoráveis podem gerar dessincronizações entre eventos bioquímicos do metabolismo das plantas (Henson e Duke, 1990). Portanto, o estudo dos fatores que modulam essas funções fisiológicas tornou-se necessário para aumentar a produtividade. Há estudos cronobiológicos em fisiologia vegetal, como germinação de sementes, sensibilidade a herbicidas, fotossíntese, assimilação de amido e de outros carboidratos (Millet e Bonnet, 1990).

## A INSTITUCIONALIZAÇÃO E AS PERSPECTIVAS DA CRONOBIOLOGIA

A institucionalização da cronobiologia como área disciplinar pode ser referenciada pela realização do simpósio sobre “relógios biológicos”, organizado por Colin Pittendrigh e colaboradores e realizado de 5 a 14 de junho de 1960 em Cold Spring Harbor, EUA, como um dos hoje famosos e tradicionais

Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. O simpósio reuniu cerca de 150 dos principais cientistas interessados em ritmos biológicos. Havia a expectativa de que o simpósio daquele ano servisse como uma influência unificadora desse campo de estudo. O programa da reunião foi organizado com essa preocupação e consistiu de seções cujos temas iam de propriedades gerais dos ritmos circadianos a ritmos de períodos mais longos (como os lunares e anuais), passando pelos ajustes metabólicos dos ritmos, efeitos de foto e termoperiodismo, ritmos em fisiologia, ecologia, reprodução e migração de animais, orientação e navegação biológica. Havia, inclusive, uma seção destinada a modelos de ritmos circadianos (Chovnick, 1960).

Em vista do acúmulo de observações sobre fenômenos rítmicos, que apareciam de maneira constante, mas não sistemática, desde o século XVIII, essa reunião científica teve o importante papel de consolidar temas como, por exemplo, conceitos de agentes arrastadores, da organização temporal e da própria idéia de relógio biológico. Esse simpósio teve um papel importante também para a aceitação mais generalizada da cronobiologia como uma área respeitável do conhecimento científico. A possibilidade oferecida por esse encontro de permitir a formulação de hipóteses e teorias serviu de fio condutor para a própria consolidação da cronobiologia como uma área científica definida. Já nesse encontro, as primeiras propostas de tratar os ritmos biológicos com ferramentas matemáticas e estatísticas próprias foram muito úteis para ilustrar e tornar mais claros muitos dos aspectos funcionais

tratados como meros fenômenos curiosos, desde a época de Androtenes de Thasos. A partir desse momento, o(s) relógio(s) biológico(s), tratado(s) como osciladores auto-sustentados, são aceitos como inerentes a todos os organismos vivos. Apesar da ênfase dada ao período circadiano desde as primeiras descrições de ritmos biológicos, nesse encontro foram discutidas também outras frequências de importância biológica (ritmos circanuais, sazonais, cerca-marés).

Apesar de se considerar a sistematização disciplinar da cronobiologia como tendo se iniciado em 1960, com a realização do Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology sobre relógios biológicos, as tentativas de organização disciplinar têm quase sessenta anos. A. Jores, um dos principais pesquisadores dedicados ao estudo da expressão rítmica de variáveis biológicas em humanos (Jores, 1935 e 1937), esteve também envolvido com a idéia de reunir e organizar as pessoas interessadas em ritmicidade biológica. Por sua iniciativa e juntamente com outro pesquisador sueco, J. Mollerstrom, em 13 de agosto de 1937 foi fundada a primeira sociedade científica dedicada a congregar os pesquisadores que trabalhavam com ritmos biológicos, a Societas pro Studio Rhythmi Biologici, em Roneby, Suécia. A sociedade realizou algumas outras conferências internacionais: a segunda ocorreu em agosto de 1939, pouco antes do início da II Guerra Mundial, em Utrecht, Holanda. A terceira reunião científica só foi ocorrer no dia 1º de setembro de 1949, em Hamburgo, numa Alemanha devastada pela guerra. Teve, no entanto, cerca de cinquenta participantes, co-



# RITMICIDADE

meçando realmente a se tornar um pólo mais internacional de congregação de cientistas de diversas partes do mundo. Novos encontros foram realizados, com uma certa regularidade, a partir de 1949: Basiléia, Suíça, em 1953; Estocolmo, Suécia, 1955; Semmering, Áustria, 1957; Siena, Itália, 1960; novamente Hamburgo, 1963; Wiesbaden, Alemanha, 1967 e, finalmente, Little Rock, EUA, em 1971, onde assume uma nova identidade, como a ISC, International Society for Chronobiology. A partir de 1971, as reuniões da ISC tornam-se bienais, sempre nos anos ímpares, realizadas de maneira alternada entre cidades americanas e européias, tendo-se expandido mais recentemente, incluindo outras regiões.

Se o desenvolvimento da cronobiologia no mundo é uma história de algumas décadas, na América Latina e no Brasil ela se resume a alguns anos, apenas. No Brasil, diversos pesquisadores entraram em contato com a literatura cronobiológica, em diferentes momentos. No entanto, isso ocorreu, em

## DESENVOLVIMENTO

geral, na tentativa de explicar certos resultados experimentais, cuja flutuação não era muito clara. O GMDRB – Grupo Multidisciplinar de Desenvolvimento e Ritmos Biológicos, da Universidade de São Paulo, pode ser considerado o grupo pioneiro em tomar a cronobiologia como objeto principal de investigação científica desde a constituição do grupo em 1981. Esse grupo de trabalho, ao lado de suas atividades de pesquisa, elaborou o primeiro livro em língua portuguesa contendo os fundamentos e as aplicações principais da cronobiologia (Cipolla-Neto *et al.*, 1988). Em 1997, elaborou um segundo livro de cronobiologia, ressaltando os aspectos biológicos da organização temporal. Esse livro foi lançado no mercado em uma versão em português (Marques e Menna-Barreto, 1997) e em castelhano para atender aos demais países da América Latina (Marques *et al.*, 1997).

Como pólo de atuação científica, o GMDRB já organizou cinco simpósios brasileiros de cronobiologia. O primeiro em 1985, em São Paulo, SP; o segundo, em 1989, em São Sebastião, SP (Benedito-Silva *et al.*, 1989) e o terceiro, em 1991, em Itatiaia, RJ. Junto com este, foi realizado, também, o 1º Simpósio Latino-americano de Cronobiologia, que se

constituiu na primeira tentativa de integração da cronobiologia no âmbito latino-americano, congregando pesquisadores da Argentina e do México (Marques, M. D. *et al.*, 1991). O quarto e o quinto simpósios brasileiros de cronobiologia foram realizados em Caxambu, MG, como simpósios-satélites às reuniões da Fesbe, em agosto de 1994 e de 1998. A integração latino-americana continuou com a realização dos simpósios no México em 1993 (o segundo) e em 1997 (o quarto), em Morelos e Tlaxcala, respectivamente. O terceiro encontro foi realizado no Brasil em 1995, em Caraguatatuba, SP (Benedito-Silva e Marques, 1995; Marques *et al.*, 1996 a e b). O 5º Simpósio Latino-americano de Cronobiologia foi realizado em outubro de 1999 na cidade de Buenos Aires, Argentina.

Há hoje diversos grupos de pesquisa em São Paulo e em outros estados brasileiros. Em São Paulo, o GMDRB desenvolve estudos sobre a ontogênese do ciclo vigília/sono na espécie humana e sobre a intermodulação de ritmos biológicos de diferentes frequências em várias espécies animais. No Museu de Zoologia da USP, são desenvolvidas pesquisas sobre a evolução da ritmicidade biológica e sobre a interação entre fatores cronobiológicos e ecológicos. No

Instituto de Química da USP, são estudados os aspectos moleculares e celulares da ritmicidade em organismos unicelulares. No Rio Grande do Norte, pesquisadores do Departamento de Psicobiologia estudam os aspectos neuroanatômicos, endocrinológicos e comportamentais da ritmicidade biológica em primatas. Na Fundação Oswaldo Cruz, no Rio de Janeiro, RJ, os estudos voltaram-se para os aspectos cronobiológicos envolvidos na transmissão de parasitoses e, mais recentemente, para uma melhor compreensão da ritmicidade humana. Informações mais detalhadas sobre a área da cronobiologia no Brasil e no mundo podem ser obtidas em nossa página na Internet: <http://fisio.icb1.usp.br/crono>. \*

Nelson Marques e Luiz Menna-Barreto são coordenadores do GMDRB – Grupo Multidisciplinar de Desenvolvimento e Ritmos Biológicos – da Universidade de São Paulo desde 1981. O GMDRB introduziu formalmente a cronobiologia no Brasil.

#### Nelson Marques

Biólogo (USP), tendo realizado pós-graduação na área de Bioquímica (USP) e pós-doutoramento no Laboratório de Cronobiologia da Universidade de Minnesota, Minneapolis, EUA. É professor do Departamento de Clínica Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

#### Luiz Menna-Barreto

Biomédico (USP), tendo realizado pós-graduação na área de Fisiologia e pós-doutoramento no Laboratório de Psicofisiologia da Universidade de Franche-Comté, Besançon, França. É professor do Departamento de Fisiologia e Biofísica da Universidade de São Paulo.

## referências bibliográficas

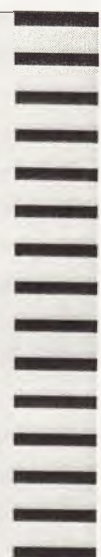
- ANDRADE, M. M. M., MENNA-BARRETO, L., LOUZADA F. 1997. "Ontogênese da ritmicidade biológica". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 183-202.
- ARAÚJO, J. F., MARQUES, N. 1997. "Intermodulação de frequências dos ritmos biológicos". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 85-96.
- ASCHOFF, J. 1951. Die 24-Stunden-Periodik der Maus unter konstanten Umweltbedingungen. *Naturwissenschaften*, 38: 506-507.
- ASCHOFF, J. 1954. Zeitgeber der tierischen tagesperiodik. *Naturwissenschaften*, 41: 49-56.
- \_\_\_\_\_. 1960. Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 11-28.
- \_\_\_\_\_. 1986. Anticipation of a daily meal: a process of 'learning' due to entrainment. *Monitore Zool. Ital.* (N. S.), 20: 195-219.
- ASCHOFF, J., VON GOETZ, C. 1986. Effects of feeding cycles on circadian rhythms in squirrel monkeys. *J. Biol. Rhythms*, 1: 267-276.
- ASCHOFF, J., TOKURA, H. 1986. Circadian activity rhythms in squirrel monkeys: entrainment by temperature cycles. *J. Biol. Rhythms*, 1: 91-100.
- ASCHOFF, J., WEVER, R. 1976. Human circadian rhythms: a multioscillatory system. *Federation Proc.*, 35: 2326-2332.
- BENEDITO-SILVA, A. A., MARQUES, M. D., MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (eds.). *Anais do II Simpósio Brasileiro de Cronobiologia*, São Sebastião, SP, 1-3 de fevereiro de 1989. São Paulo: Edição Pessoal, p. 1-59.
- BENEDITO-SILVA, A. A., MARQUES, N. (eds.). 1995. *Programs and Abstracts of the III Latin American Symposium on Chronobiology*, Caraguatuba, SP, 23-26 de maio de 1995. São Paulo: Edição Pessoal, p.1-116.
- BLEHAR, M. C., LEWY, A. J. 1990. Seasonal mood disorders: consensus and controversy. *Psychopharmacol. Bull.*, 26: 465-494.
- BOULOS, Z., TERMAN, M. 1980. Food availability and daily biological rhythms. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 4: 119-131.
- BROWN Jr., F. A., WEBB, M. 1948. Temperature relations of an endogenous daily rhythmicity in the fiddler crab. *Uca. Physiol. Zool.*, 21: 371-381.
- BÜNNING, E. 1935. Zur Kenntnis der endonomen Tagesrhythmik bei Insekten und bei Pflanzen. *Ber. Deutsch. Bot. Gesellsch.*, 53: 594-623.

- \_\_\_\_\_. 1958. Tagesperiodische Bewegungen. *Encyclopedia Plant Physiology*. Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberger, 17: 579-656.
- \_\_\_\_\_. 1960. Opening address: biological clocks. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 1-9.
- BÜNNING, E., CHANDRASHEKARAN, M. K. 1975. Pfeffer's views on rhythms. *Chronobiologia*, 2: 160-167.
- CEREJIDO, M. 1983. La vida y el tiempo. Del tiempo, Cronos, Freud, Einstein y los genes. Em CEREJIDO, F. B. (ed.). México: Folios Ediciones.
- CHANDRASHEKARAN, M. K. 1974. Phase shifts in the *Drosophila pseudoobscura* circadian rhythm evoked by temperature pulses of varying length. *J. Interdiscipl. Cycle Res.*, 5: 371-380.
- CHIBA, Y., UKI, M., KAWASAKI, Y., MATSUMOTO, A., TOMIOKA, K. 1993. Entrainability of circadian activity of the mosquito *Culex pipiens pallens* to 24-hr. temperature cycles, with special reference to involvement of multiple oscillators. *J. Biol. Rhythms*, 8: 211-220.
- CHOVNICK, A. (ed.). 1960. Biological clocks. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 1-524.
- CIPOLLA-NETO, J., MARQUES, N., MENNABARRETO, L. 1988. Introdução ao estudo da cronobiologia. São Paulo: Ícone/Edusp.
- COLQUHOUN, W. P. 1971. Biological rhythms and human performance. Londres: Academic Press.
- CORLETT, E. N., QUEINNEC, Y., PAOLI, P. 1988. Adapting shiftwork arrangements. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Dublin: Prinset & Design, Ltd.
- CORNÉLISSEN, G., NAGAYAMA, H., HALBERG, F., TAKAHASHI, R. 1982. "The need of quantitative circannual as well as circadian rhythm assessment in murine chronopharmacology". Toward chronopharmacology. Em TAKAHASHI, R., HALBERG, F., WALKER, C. (eds.). Oxford/Nova York: Pergamon Press, p. 265-271.
- CORNÉLISSEN, G., BAKKEN, E., DELMORE, P., ORTH-GOMÉR, K., AKERSTEDT, T., CARANDENTE, F., HALBERG, F. 1990. From various kinds of heart rate variability to chronocardiology. *Amer. J. Cardiol.*, 66: 863-868.
- COSTA, G., GHIRLANDA, G., MINORS, D. S., WATERHOUSE, J. M. 1993. Effect of bright light on tolerance to night work. *Scand. J. Work Environ. Hlth.*, 19: 414-420.
- CRÉPON, P. 1983. Les rythmes de vie de l'enfant. Du tout petit à l'adolescent. Paris: Retz.
- CZEISLER, C. A., JOHNSON, M. P., DUFFY, J. F., BROWN, E. N., RONDA, J. M., KRONAUER, R. E. 1990. Exposure to bright light and darkness to treat physiologic maladaptation to night work. *N. Engl. J. Med.* 322: 1253-1259.
- DARWIN, Ch., DARWIN, F. 1880. On the power of movement in plants. Londres: John Murray, p. 407-408.
- DE COURSEY, P. J. 1960. Phase control of activity in a rodent. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 49-55.
- FARNER, D. S. 1985. Annual rhythms. *Ann. Rev. Physiol.*, 47: 65-82.
- FIGALA, J., TESTER, J. R. "Chronobiology and agroecosystems". 1990. Em *Chronobiology: its role in clinical medicine, general biology, and agriculture – Part B*. HAYES, D. K., PAULY, J. E., REITER, R. J., (eds.). Nova York: Wiley-Liss Inc., p. 793-808.
- FISCHER, F. M. 1990. Condições de vida e trabalho em trabalhadores de setor petroquímico. Tese de Livre-Docência. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
- FISCHER, F. M., SCATENA, J. C., BRUNI, A. de C. 1987. "Effects on sleep and leisure time under continuous shiftwork schedules of subway workers". *Contemporary advances in shiftwork research*. Em OGINSKI, A., POKORSKI, J., RUTENFRANZ, J. (ed.). Krakow: Medical Academy, p. 375-384.
- FOLKARD, S. 1983. "Diurnal variation". *Stress and fatigue in human performance*. Em HOCKEY, G. R. J. (ed.). John Wiley Sons, p. 245-270.
- FOLKARD, S., MONK, T. H. 1981. "Individual differences in the circadian response to weekly rotating shift system". *Night and shiftwork: biological and social aspects*. REINBERG, A., VIEUX, N., ANDLAUER, P. (eds.). Nova York: Pergamon-Press, p. 367-374.
- FRANCIS, A. J. P., COLEMAN, G. J. 1988. The effect of ambient temperature cycles upon circadian running and drinking activity in male and female laboratory rats. *Physiol. Behav.*, 43: 471-477.
- GARFIELD, E. 1988. Chronobiology: an internal clock for all seasons. Part

# bibliografia

- 1 and 2. **Current Contents, Life Sciences**, 31(1):3-8 e 31(2):3-9.
- GOLOMBEK, D. A., CARDINALI, D. P., AGUILAR-ROBLERO, R. 1997. "Mecanismos de temporização em vertebrados". **Cronobiologia: princípios e aplicações**. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 137-162.
- GRAHAM, T. E., HUTCHISON, V. H. 1979. Turtle diel activity: response to different regimes of temperature and photoperiod. **Comp. Biochem. Physiol.**, 63A:299-305.
- GWINNER, E. 1986. **Circannual rhythms. Endogenous annual clocks in the organization of seasonal process**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- HALBERG, F. 1959. Physiologic 24-hour periodicity, general and procedural considerations with reference to the adrenal cycle. **Zeitschr. Vitamin.-Hormon.-u Ferment-forsch.**, 10: 225-296.
- \_\_\_\_\_. 1960. Temporal coordination of physiologic function. **Cold Spring Harbor Symp, Quant. Biol.**, 25: 289-310.
- \_\_\_\_\_. 1967. "Claude Bernard, referring to an 'extreme variability of the internal milieu'". **Claude Bernard and Experimental Medicine**. Cambridge, Mass: Schenkman, p. 193-210.
- \_\_\_\_\_. 1969. **Chronobiology**. **Ann. Rev. Physiol.**, 31: 675-725.
- \_\_\_\_\_. 1981. "Biologic rhythms, hormones and aging". **Hormones in development and aging**. Em VERNADAKIS, A., TIMIRAS, P. S. (eds.). Nova York: Spectrum Publications, p. 451-476.
- HALBERG, F., VISSCHER, M. B., BITTNER, J. J. 1954. Relation of visual factors to eosinophil rhythm in mice. **Am. J. Physiol.**, 179:229-235.
- HALBERG, F., HALBERG, E., HALBERG, J. 1979. "Collateral-interacting hierarchy of rhythm coordination at different organization levels, changing schedules and aging". **Biological rhythms and their central mechanism**. Em SUDA, M., HAYASHI, Osamu, NAKAYAWA, Hachiro (eds.). Amsterdam: Elsevier North-Holland Biomedical Press, p. 421-434.
- HASTINGS, J. W., RUSAK, B., BOULOS, Z. 1991. "Circadian rhythms: the physiology of biological timing". **Neural and integrative animal physiology**. Em PROSSER, C. L. (ed.). Nova York: Wiley-Liss, Inc., p. 435-546.
- HECKROTTE, C. 1962. The effect of the environmental factors in the locomotory activity of the plains garter snake (*Thamnophis radix radix*). **Anim. Behav.**, 10: 193-207.
- HENSON, C. A., DUKE, S. H. 1990. "Oscillations in plant metabolism". **Chronobiology: its role in clinical medicine, general biology, and agriculture, Part B**. Em HAYES, D., K. PAULY, J. E., REITER, R. J. (eds.). Nova York: Wiley-Liss, p. 821-834.
- HILDEBRANDT, G., STRATMANN, I. 1979. Circadian system response to night work in relation to the individual circadian phase position. **Int. Arch. Occup. Health**, 43: 73-83.
- HRUSHESKY, W. J. M. 1985. Circadian timing of cancer chemotherapy. **Science**, 228: 73-75.
- \_\_\_\_\_. 1988. "Automatic chronotherapy: an integral part of the future of medicine". **Trends in chronobiology**. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). Pergamon Press, Oxford. **Adv. Biosciences**, 73, p. 281-293.
- \_\_\_\_\_. 1990. "Cancer chronotherapy: a drug delivery challenge". **Chronobiology: its role in clinical medicine, general biology, and agriculture, Part A**. Em HAYES, D. K., PAULY, J. E., REITER, R. J. (eds.). Nova York: Wiley-Liss Inc., p. 1-10.
- JOHNSON, C. H. 1990. **An atlas of phase response curves for circadian and circatidal rhythms**. Nashville: Vanderbilt University Press.
- JORES, A. 1935. **Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen**. **Erg.d. inn Med.**, 48: 1-574.
- \_\_\_\_\_. 1937. **Die 24-Stunden-Periodik der Biologie**. **Tabul. Biol.**, 14: 77-109.
- \_\_\_\_\_. 1975. The origins of Chronobiology: an historical outline. **Chronobiologia**, 2: 155-159.
- KALMUS, H. H. 1974. The foundation meeting of the International Society for Biological Rhythms. **Chronobiologia**, 1: 118-124.
- \_\_\_\_\_. (1988). The history and philosophy of Chronobiology. **J. Interdiscipl. Cycle Res.**, 19: 227-234.
- KNAUTH, P., LANDAU, K., DROGE, C., SCHWITTECK, M., WIDYNSKI, M. 1980. Duration of sleep depending

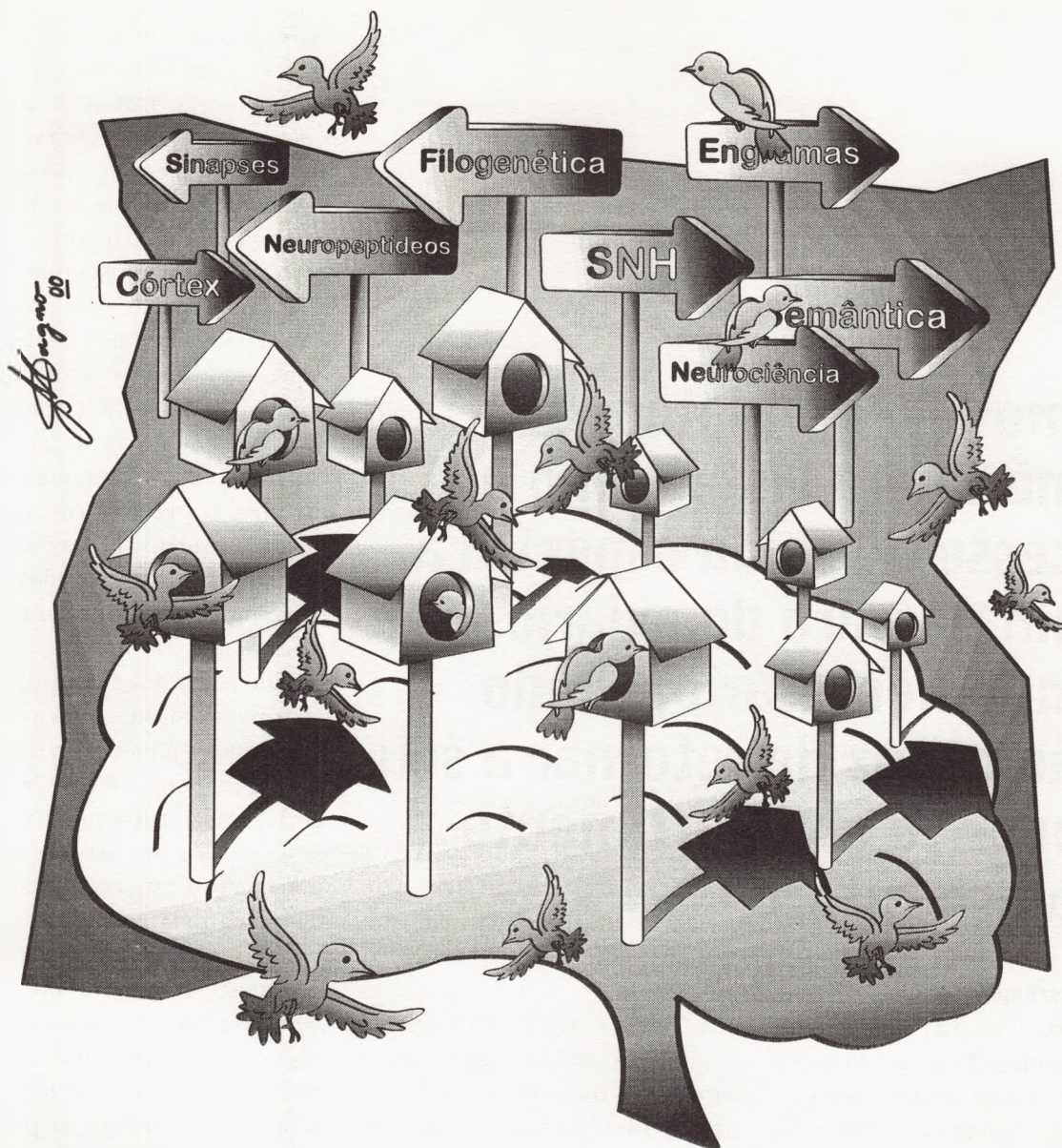
- on the type of shift work. *Int. Arch. Occup. Environ. Hlth.*, 46:167-177.
- KOUKKARI, W. L. 1988. The broad spectrum of plant rhythms. *Trends in Chronobiology*. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). Oxford: Pergamon Press, *Adv. Biosciences*, 73: 31-41.
- LEVI, F. 1988. Chronobiology in oncology in 1987-1988. *Trends in Chronobiology*. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). Oxford: Pergamon Press, *Adv. Biosciences*, 73: 261-280.
- LIEBER, R. R. 1991. Trabalho e riscos químicos: o horário de trabalho como fator interveniente no efeito tóxico. Dissertação de mestrado. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
- MARQUES, M. D. 1997. "Mecanismos de temporização em unicelulares, plantas e invertebrados". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 111-136.
- MARQUES, M. D., DO VAL, F. C. 1997. "Evolução da ritmicidade biológica". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 203-214.
- MARQUES, M. D., BENEDITO-SILVA, A. A., MENNA-BARRETO, L., MARQUES, N. (eds.) 1991. *Anais do I Simpósio Latino-Americano de Cronobiologia e do III Simpósio Brasileiro de Cronobiologia*, Parque Nacional, Itatiaia, RJ, 18 a 21 de fevereiro de 1991. São Paulo: Edição Pessoal, p. 1-64.
- MARQUES, M. D., GOLOBBEK, D. A., MORENO, C. 1997. "Adaptação temporal". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 45-84.
- MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.) 1997. *Cronobiologia: princípios e aplicações*. São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz.
- MARQUES, N., COLEPICCOLO, P., MENNA-BARRETO, L. 1996 a. Conferences and Thematic Discussions of the III Latin American Symposium on Chronobiology, maio 23-26, 1995, Hotel Tabatinga, Caraguatatuba, SP, Brazil. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 29: 62-145.
- MARQUES, N., COLEPICCOLO, P., MARQUES, M. D., MENNA-BARRETO, L. 1996 b. III Latin American Symposium on Chronobiology, maio 23-26, 1995, Hotel Tabatinga, Caraguatatuba, SP, Brazil. *Biol. Rhythm Res.*, 27: 243-418.
- MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L., GOLOBBEK, D. A. (eds.) 1997. *Cronobiología: principios y aplicaciones*. Buenos Aires: EUDEBA.
- MARQUES, N., STRINGHER, C. G., ASANO, C. S., COLEPICCOLO, P. 1997. Aspectos celulares e moleculares dos ritmos biológicos. *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 163-182.
- MARTINS, R. W. T., ARAÚJO, J. F., MARQUES, N. 1994. A cronobiologia na prática médica e na reumatologia. *Rev. Bras. Reumatol.*, 34: 81-92.
- MENNA-BARRETO, L. 1991. O tempo biológico. *Boletim de Psicologia*, 41 (94/95): 1-3.
- MENNA-BARRETO, L., MARQUES, N. 1988. Cronobiologia e homeostasia. Introdução ao estudo da cronobiologia. Em CIPOLLA-NETO, J., MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (eds.). São Paulo: Ícone/Edusp, p. 253-258.
- MEYER-PETERS. 1993. Feeding effects on daily locomotor activity in *Carabus auronitens*. *J. Comp. Physiol.*, 173 A: 49-55.
- MILLET, B., BONNET, B. 1990. "Growth rhythms in higher plants". *Chronobiology: its role in clinical medicine, general biology, and agriculture – Part B*. Em HAYES, D. K., PAULY, J. E., REITER, R. J. (eds.). Nova York: Wiley-Liss Inc., p. 835-854.
- MINORS, D. S., WATERHOUSE, J. M. 1989. Masking in humans: the problem and some attempts to solve it. *Chronobiol. Int.*, 6: 29-53.
- MONK, T. H. 1990. "Shiftworker performance". *Shiftwork. Occupational medicine: state of the art reviews*, 5. Em SCOTT, A. J. (ed.). Philadelphia: Hanley & Belfus, p. 183-198.
- MOORE-EDE, M. C., SULZMAN, F. M., FULLER, C. A. 1982. *The clocks that time us. Physiology of the circadian timing system*. Cambridge: Harvard University Press.
- MORENO, C., FISCHER, F. M., MENNA-BARRETO, L. (1997). "Aplicações da cronobiologia". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São



# REFERÊNCIAS

- Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 239-254.
- MROSOVSKY, N. 1988. Phase response curves for social entrainment. *J. Comp. Physiol.*, 162 (A): 35-46.
- \_\_\_\_\_. 1995. "A non-photoc gateway to the circadian clock of hamsters". *Circadian clocks and their adjustment*. Em CHADWICK, D. J., ACKRILL, K. (eds.). Ciba Foundation Symposium 183. Chichester: John Wiley & Sons, p. 154-174.
- MROSOVSKY, N., SALMON, P. A. 1990. Triazolam and phase-shifting acceleration reevaluated. *Chronobiol. Int.*, 7: 35-41.
- MROSOVSKY, N., REEBS, S. G., HONRADO, G. I., SALMON, P. A. 1989. Behavioral entrainment of circadian rhythms. *Experientia*, 45: 696-702.
- PENGELLEY, E. T. 1974. *Circannual clocks. Annual biological rhythms*. Nova York: Academic Press.
- PITTENDRIGH, C. S. 1954. On temperature independence in the clock-system controlling emergence time in *Drosophila*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 40: 1018-1029.
- \_\_\_\_\_. 1960. Circadian rhythms and the circadian organization of living systems. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 159-184.
- PITTENDRIGH, C. S., BRUCE, V. G. 1957. "An oscillation model for biological clocks". *Rhythmic and synthetic processes in growth*. Em RUDNIK, D. (ed.). Princeton: Princeton University Press, p. 75-109.
- PITTENDRIGH, C. S., MINIS, D. H. 1972. Circadian systems: longevity as a function of circadian resonance in *Drosophila melanogaster*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 69: 1537-1539.
- REGAL, P. J., CONNOLLY, M. S. 1980. Social influences on biological rhythms. *Behaviour*, 72: 171-199.
- REINBERG, A., SMOLENSKY, M. H. 1983. "Introduction to chronobiology". *Biological rhythms and medicine. Cellular, metabolic, physiopathologic and pharmacological aspects*. Em REIBERG, A., SMOLENSKY, M. H. (eds.). Nova York: Springer-Verlag.
- REINBERG, A., VIEUX, N., GHATA, J., CHAUMONT, A. J., LAPORTE, A. 1978. Circadian rhythm amplitude and individual ability to adjust to shift work. *Ergonomics*, 21:763-766.
- REINBERG, A., ANDLAUER, P., GUILLET, P., NICOLAI, A., VIEUX, N., LAPORTE, A. 1980. Oral temperature, circadian rhythm amplitude, ageing and tolerance to shiftwork. *Ergonomics*, 23:55-64.
- REPPERT, S. M., SCHWARTZ, W. J. 1986. The maternal suprachiasmatic nuclei are necessary for maternal coordination of the developing circadian system. *J. Neurosci.* 6:2724-2729.
- ROBERTS, S. K. de F. 1962. Circadian activity in cockroaches. II. Entrainment and phase-shifting. *J. Comp. Physiol.*, 59: 175-186.
- ROTENBERG, L., MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. 1997. "Desenvolvimento da cronobiologia". *Cronobiologia: princípios e aplicações*. Em

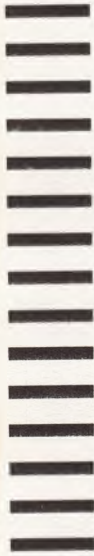
- MARQUES, N., MENNA-BARRETO, L. (orgs.). São Paulo: Edusp/Editora Fiocruz, p. 23-44.
- RUTENFRANZ, J., KNAUTH, P., FISCHER, F. M. 1989. *Trabalho em turnos e no turno*. São Paulo: Hucitec.
- SAUNDERS, D. S. 1976. *Insect clocks*. Oxford: Pergamon Press.
- \_\_\_\_\_. 1982. *Insect clocks*, 2ª ed. Oxford: Pergamon Press.
- SCHILDKNECHT, H. 1983. Turgorins, hormones of the endogenous daily rhythms if higher organized plants - detection, isolation, structure, synthesis, and activity. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 22: 695-710.
- SCHWASSMANN, H. O. 1971. "Biological rhythms". *Fish physiology* (vol. 6). *Environmental relations and behavior*. Em HOAR, W. S., RANDALL, D. J. (eds.), p. 371-428.
- SMOLENSKY, M. H., D'ALONZO, G. E. 1988. Biologic rhythms and medicine. *Am. J. Med.*, 85 (supl 1 B): 34-46.
- SMOLENSKY, M. H., REINBERG, A. 1990. "Clinical chronobiology: relevance and applications to the practice of occupational medicine". *Shiftwork. Occupational medicine: state of art reviews*. Em SCOTT, A. J. (ed.), 5: 239-272.
- STEPHAN, F. K. 1984. Phase shifts of circadian rhythms in activity entrained to food. *Physiol. Behav.*, 32: 663-671.
- SULZMAN, F. M., FULLER, C. A., MOORE-EDÉ, C. 1977. Environmental synchronizers of squirrel monkey circadian rhythms. *J. Appl. Physiol.*, 43: 795-806.
- SWEENEY, B. M., HASTINGS, J. W. 1960. Effects of temperature upon diurnal rhythms. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 25: 87-104.
- TESTU, F. 1991. *Chronopsychologie et Rythmes Solaires*, 2ª ed. Paris: Masson.
- WATERHOUSE, J. M., MINORS, D. 1988. Masking and entrainment. *Trends in chronobiology*. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). *Adv. Biosc.*, 73: 163-171.
- WEBB, H. M., BENNETT, M. F., GRAVES, R. C., STEPHENS, G. C. 1953. Relationship between time of day and inhibiting influence of low temperature on the diurnal chromatophore rhythm of *Uca*. *Biol. Bull.*, 105: 386-387.
- WEHR, T. A. 1988. Chronobiology of affective illness. *Trends in chronobiology*. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). Oxford: Pergamon Press, *Adv. Biosc.*, 73: 367-379.
- WEVER, R. A. 1979. *The Circadian System of Man*. Berlin: Springer Verlag.
- ZERSEN, D. VON. 1988. Circadian phenomenon in depression: theoretical concepts and empirical findings. *Trends in chronobiology*. Em HEKKENS, W. Th. J. M., KERKHOF, G. A., RIETVELD, W. J. (eds.). Oxford: Pergamon Press, *Adv. Biosc.*, 73: 357-366.
- ZIMMERMANN, W. F., PITTENDRIGH, C. S., PAVLIDIS, P. 1968. Temperature compensation of the circadian oscillation in *Drosophila pseudoobscura* and its entrainment by temperature cycles. *J. Insect Physiol.*, 14: 669-684.



neurociência

*e M e M Ó R I A*

**Carlos Alberto Tomaz e Joseane Carvalho Costa**



## No modelo de Platão, a memória era vista como o processo de saída específica de um pássaro do aviário quando necessário, sendo então capaz de retornar a seu respectivo compartimento para uso futuro

### BREVE HISTÓRICO

A memória tem sido considerada há pelo menos 2 mil e 500 anos. Na Idade Antiga, Platão escreveu um tratado denominado *Theaetetus*, em que o tema memória foi abordado. Nesse tratado, Platão utilizou uma metáfora socrática, na qual a memória é comparada a um aviário de muitos compartimentos, onde pássaros voam por todos os lugares. Nesse antigo modelo, a memória era vista como o processo de saída específica do pássaro do aviário quando necessário, sendo então capaz de retornar a seu respectivo compartimento para uso futuro. A idéia de um aviário repousa na suposição de que algo ou alguma coisa deve arquivar a memória em uma via específica para prevenir que as

informações adquiridas fossem acumuladas em um mesmo lugar e correrem o risco de ser confundidas. A idéia básica era de que grandes blocos de informações deviam ser divididos em unidades menores, as quais poderiam ser lembradas mais facilmente. Esse processo exigia a organização sistemática dessas unidades de informações em diferentes locais. Esse modelo metafórico talvez tenha sido uma das primeiras especulações sobre um traço natural de memória (Finger, 1994), com a sábia assunção de que não existe um único *locus* para a memória.

Aristóteles, que estudou durante vinte anos na academia de Platão, antes de iniciar sua própria academia no Lyceum, foi bem

mais além de seu mentor, quando escreveu um tratado especial sobre memória. Em *De memoria et reminiscencia* (*Sobre memória e reminiscências*), a memória não está relacionada a questões da natureza da alma eterna. Aristóteles, mais naturalista e empirista que Platão, relacionou a memória à razão. Ele escreveu que ambas declinavam com a idade e pereciam com o corpo, além de também recomendar o sistemático cultivo da memória. Aristóteles acreditava que eventos externos geravam movimentos em órgãos sensoriais. Esses movimentos eram então propagados para o coração pelos espíritos ou pneumas no sangue. Os movimentos dos pneumas teriam a habilidade de continuar em uma escala decrescente após a remoção do estímulo. A imagem dentro de nós, ele imaginava, era o lado subjetivo desses movimentos persistentes. Se os movimentos estivessem relacionados ao passado, eram considerados memória, se não, eram considerados imaginação ou fantasia. Dentro dessas considerações, a memória era vista como uma função da faculdade do senso de percepção, a mesma faculdade responsável pela percepção do tempo. Aristóteles dissociou esse simples tipo de memória, a qual era observada em animais, das lembranças voluntárias. Estas últimas, segundo Aristóteles, distinguiam humanos de animais. Aristóteles, entretanto, não associou essas ou outras funções mentais diretamente com o cérebro (Finger, 1994).

Galeno, ainda na Idade Antiga, acreditava que espíritos vitais, produzidos no coração, eram transportados para o cérebro, pelas artérias carótidas, onde eram transformados em espíritos animais e armazenados nos ventrículos. Os

espíritos animais poderiam então passar através dos nervos para forçar os músculos em uma ação ou mediar sensações. Embora esses espíritos constituíssem o instrumento da alma, Galeno considerava o próprio cérebro o sítio da alma. Essa especulação era baseada na observação de que lesões no cérebro poderiam afetar a mente e até mesmo a própria vida (Finger, 1994).

Muitos modelos foram propostos ao longo dos tempos. Entretanto, somente no século XVII se assistiu à afirmação da ciência experimental, pela qual a atividade científica não mais se reduzia a observar e classificar os fenômenos, partindo de dados empíricos para os princípios eternos (Deus), mas em procurar descobrir e explicar os fenômenos e as leis que constituem a natureza. Durante esse período assistiu-se de fato a explicações racionais do universo, submetido a leis físicas e naturais e não a princípios metafísicos e di-

vinos que iriam romper com a secular concepção de uma ciência livresca subordinada “ao princípio da autoridade e a noções aristotélicas de imobilidade e hierarquização do mundo” (Aquino *et al.*, 1983). Durante os séculos XV e XVI, vários modelos foram propostos na tentativa de explicar os processos de aprendizagem e memória. Uma das teorias pós-renascentistas mais notáveis foi desenvolvida por René Descartes. Em *De homini*, publicado postumamente em 1662, Descartes teorizou que filamentos dentro de cada tubo nervoso operavam diminutas válvulas que, por sua vez, controlavam o fluxo dos espíritos animais dentro dos nervos. Por exemplo, o calor de uma chama poderia mover a pele e puxar esses filamentos para abrir uma válvula nos ventrículos do cérebro. Essa ação permitiria a liberação dos espíritos animais dentro dos nervos, os quais, por sua vez, fariam os músculos moverem um membro para longe da chama (Fin-

ger, 1994). Descartes apresentou essa teoria reflexiva para explicar, como involuntário, o comportamento como uma máquina. Ele acreditava que o comportamento involuntário era completamente diferente do comportamento voluntário. Este último necessita da alma racional, a qual ele denominou autômato. Essa interação, ele propôs, ocorria através da glândula pineal, um pequeno corpo central suspenso entre as cavidades (ventrículos). Portanto, o papel específico da glândula pineal era controlar o fluxo dos espíritos pelos sistemas de tubos e válvulas. Em *Les passions de l'ame*, publicado em 1650, a teoria da glândula pineal foi aplicada à memória de idéias. Modelos cartesianos de memória humana foram mantidos durante o século XVIII, mas passaram por transformações ao longo dos tempos. Uma das mais importantes modificações foi a eliminação da alma metafísica do plano mecânico (Finger, 1994). No século XIX, as portas para a experimentação científica da memória foram abertas.

Em 1885, Hermann Ebbinghaus publicou sua monografia denominada *Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie* (*Memória: uma contribuição à psicologia experimental*). Nesse trabalho, Ebbinghaus descreve o que seriam os primeiros estudos sistemáticos relacionados à aprendizagem e à memória. Ebbinghaus, efetivamente, tirou das mãos dos filósofos as especulações sobre memória, transformando-as por meio da utilização de métodos de análise quantitativa. Poucos anos após a publicação de sua monografia, experimentos quantitativos sobre aprendizagem e memória com animais também começaram a ser publicados. Esses estudos levaram a

Modelos cartesianos  
de memória humana  
foram mantidos  
durante o século  
XVIII, mas  
passaram por  
transformações ao  
longo dos tempos

experimentos controlados sobre os efeitos de lesões cerebrais específicas sobre a memória. Ebbinghaus, entretanto, não especulou sobre as mudanças no cérebro que poderiam ser fundamentais para o entendimento dos processos de formação e de consolidação da memória, nem comentou sobre “onde” os traços de memória haviam sido armazenados (Finger, 1994).

Em 1894, Ramon y Cajal postulou que a aprendizagem produziria prolongadas mudanças morfológicas na efetividade das conexões sinápticas entre as células nervosas e que essas mudanças representariam o mecanismo para a memória (ver Morris *et al.*, 1988). Essa idéia não havia sido explorada seriamente até 1948, quando o psicólogo Jerzy Konorski coloca-a dentro de um contexto contemporâneo de neurofisiologia celular. Konorski sugeriu que apropriados estímulos poderiam produzir dois tipos de mudanças na célula nervosa: uma invariante, mas transitória, mudança na excitabilidade, e uma facultativa, mas duradoura,



mudança plástica. Isto é, a presença de transformações funcionais mais persistentes no neurônio (ver Morris *et al.*, 1988).

Ao lado da questão sobre que mudanças ocorreriam no cérebro, estava também a questão sobre as circunstâncias sob as quais tais mudanças ocorreriam. Uma importante contribuição para essa questão foi dada pelo psicólogo canadense Donald Hebb em 1949. Hebb propôs um mecanismo celular específico pelo qual a conjunção de atividades nos elementos pré e pós-sinápticos de uma sinapse poderia levar a uma potenciação daquela conexão sináptica (ver Morris *et al.*, 1988). Donald Hebb fornece, portanto, as bases celulares para essa diferença, propondo o conceito de traço dual de memória. De acordo com esse mecanismo, a atividade em circuitos reverberatórios promove uma forma temporária de memória denominada memória a curto prazo. Essa atividade, por sua vez, leva a prolongadas mudanças celulares, as quais constituiriam a base da memória permanente. Os processos de aprendizagem e de memória estão intimamente relacionados,

podendo ser inferidos e medidos a partir de mudanças de um organismo (Hebb, 1949). O valor heurístico do trabalho de Hebb pode ser avaliado pela observação de que grande parte das atuais pesquisas em neurociência sobre a memória diz respeito a propriedades daquilo que é hoje conhecido como sinapses hebbinianas.

Nos anos 1940, Penfield utilizou a estimulação elétrica para mapear funções motoras, sensoriais e a linguagem no córtex de pacientes submetidos à neurocirurgia para atenuar a epilepsia. Penfield explorou a superfície cortical em mais de mil pacientes. Ocasionalmente, ele observou que a estimulação elétrica produzia uma resposta, na qual o paciente descrevia uma coerente lembrança de uma experiência recente. Esse tipo de memória era invariavelmente eliciada pela estimulação do lobo temporal (Penfield, 1969). Os resultados obtidos por Penfield foram significativos no desenvolvimento de várias técnicas de aprendizagem em animais, além do desenvolvimento de testes específicos para o fornecimento de medidas quantificáveis do

como suporte a severa amnésia que se seguiu à ressecção cirúrgica bilateral da região temporal medial, no caso clássico do paciente H. M. As observações que se seguiram permitiram inferir sobre um provável papel do lobo temporal medial nos processos de aprendizagem e de memória, visto que H. M. não era capaz de armazenar de forma duradoura informações recém-adquiridas. Entretanto, suas memórias para eventos que ocorreram antes da cirurgia permaneceram intactas (Scoville e Milner, 1957).

Esse estudo permitiu inferir sobre a possibilidade de diferentes estruturas cerebrais apresentarem diferentes sistemas de memória: um resultante do armazenamento transitório da informação recém-adquirida (memória a curto prazo) e outro resultante da transferência da informação recém-adquirida para estruturas do cérebro, onde passam a constituir o que denominamos memória permanente ou de longo prazo. Esse importante caso clínico demonstrou que a memória é uma função cerebral particular,

comportamento. Em 1904, o biólogo Richard Semon adotou o termo “engrama” para denominar o sítio de armazenamento da memória, onde esta poderia manifestar-se fisicamente como uma “mudança da substância orgânica” (Semon, 1904). O psicólogo norte-americano Karl Lashley dedicou toda a sua vida à investigação de sítios no SNC onde poderiam estar localizados os “engramas” (Lashley, 1950), por meio de experimentos em que removia determinadas áreas do neocórtex, na tentativa de impedir a comunicação transcortical entre as regiões sensoriais e motoras do córtex. Uma descrição dos resultados de suas pesquisas, frequentemente encontrada na literatura, reflete bem as dificuldades surgidas nesses estudos: “Não é possível demonstrar a localização isolada de qualquer vestígio de memória em nenhuma parte do sistema nervoso. Determinadas regiões podem ser essenciais para a aprendizagem ou para a retenção de uma atividade específica, mas o engrama está representado por toda parte”.

Estudos realizados por Scoville e Milner nos anos 1950 tiveram

## **A memória é uma função cerebral particular, dissociada de outras habilidades perceptuais e cognitivas**

CEREBRO

dissociada de outras habilidades perceptuais e cognitivas. Esse estudo revolucionou as pesquisas da época, deslocando a ênfase da localização dos traços de memória para a investigação dos processos responsáveis pelo armazenamento da mesma, além de chamar a atenção para o envolvimento de estruturas do lobo temporal – em particular, o hipocampo, o córtex entorrinal e o complexo amigdalóide.

Durante as últimas décadas, o avanço de algumas técnicas tem tornado possível uma ampla abordagem sobre a memória e sua fenomenologia, abrangendo não só o comportamento, mas também alterações moleculares subjacentes à experiência. Portanto, a análise biológica da memória e da aprendizagem requer duas linhas de trabalho paralelas: uma que apresente um componente comportamental no qual o sujeito seja treinado em uma tarefa para posterior mensuração do desempenho (retenção) e um componente funcional, estrutural ou bioquímico, com o objetivo de definir os sítios e as seqüências moleculares subjacen-

tes a esses eventos. Teoricamente, uma importante distinção tem sido feita entre sistemas neuronais intrínsecos e extrínsecos envolvidos nos processos de aprendizagem e memória (Squire e Davis, 1981). O sistema intrínseco refere-se a estruturas neuroanatômicas nas quais representações físico-químicas da informação são construídas (traços de memória). O sistema extrínseco, por sua vez, refere-se a vias que influenciam o desenvolvimento dos traços de memória por meio da liberação de neurotransmissores, neuropeptídeos e outros neuromensageiros. Essa via extrínseca modula o armazenamento da memória. O sistema intrínseco recebe contínuas projeções do meio interno e externo através do sistema extrínseco envolvido nos processos de aprendizagem e memória (Squire e Davis, 1981).

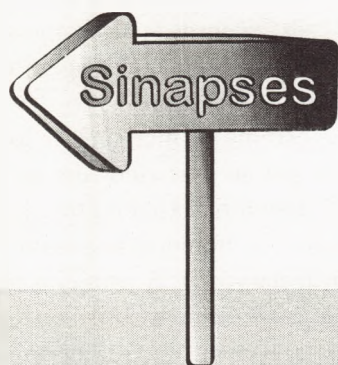
#### CLASSIFICAÇÃO DA MEMÓRIA

Neste ponto, parece-nos importante fornecer um quadro geral sobre os conceitos e a classificação da

memória. Segundo Tulving (1987), memória é o nome dado à habilidade de organismos vivos adquirirem, reterem e usarem informações ou conhecimentos. A memória, por sua vez, está intimamente relacionada à aprendizagem. A aprendizagem representa o primeiro estágio da memória referente à aquisição da informação, enquanto a memória refere-se ao processo total, em que o interesse repousa na retenção e no uso da informação adquirida. Mais especificamente, a aprendizagem conota a aquisição de novos, e relativamente estáveis, hábitos e comportamentos. Memória, por sua vez, implica retenção, por meio de curtos ou longos intervalos, do conhecimento adquirido ou de eventos previamente experienciados, juntamente com a evocação de tal conhecimento, ou lembrança de tais eventos.

A figura 1 apresenta uma classificação geral da memória, incluindo as suas diferentes classes, sistemas e tipos de memória.

FIGURA 1 – CLASSIFICAÇÃO DA MEMÓRIA				
CLASSES	SISTEMAS	TIPOS		
FILOGENÉTICA				
ONTOGENÉTICA	▶ CURTO PRAZO			
	▶ OPERACIONAL			
	▶ LONGO PRAZO	▶ Explícita	▶ Episódica	
			▶ Semântica	
		▶ Implícita	▶ Hábitos/Habilidades	
			▶ Condicionamento	



Carlos Magno

A partir de análises etológicas e neurobiológicas do comportamento, podemos considerar a existência de duas classes distintas de memória. Uma classe filogenética, que está presente em todos os seres vivos e que determina a característica de uma espécie. Essa memória é resultado do processo evolucionário, envolve a seleção de caracteres biologicamente vantajosos ao longo de muitas gerações e é transmitida às gerações seguintes como uma carga ou “memória genética” (Darwin, 1959). A memória filogenética contém informações fundamentais para a sobrevivência da espécie no seu meio ambiente. Um exemplo dentro dessa classe de memória refere-se a como os animais reconhecem seu predador e determinados estímulos. Esse reconhecimento permite que o animal evite tais estímulos e permaneça vivo, para poder procriar e perpetuar a espécie.

A outra classe é denominada memória ontogenética. Essa memória é adquirida por cada indivíduo por meio de suas experiências diárias em um processo chamado

aprendizagem e não é transferida geneticamente às gerações futuras pela reprodução. A memória filogenética, portanto, representa o conjunto de adaptações de uma espécie ao seu meio ambiente, enquanto a memória ontogenética representa as adaptações de um indivíduo ao seu meio ambiente. Enquanto a primeira ajuda na manutenção da espécie ao preço da não-adaptação de indivíduos menos aptos (Darwin, 1959), a segunda ajuda o indivíduo a manter-se vivo selecionando os comportamentos mais apropriados em resposta aos desafios do seu meio.

Além de diferentes classes de memória, existem diferentes sistemas de memória. Desde o final do século passado admite-se a existência dos seguintes sistemas: a memória de curto prazo (MCP) e a memória de longo prazo (MLP). A memória de curto prazo refere-se à capacidade de armazenar pequena quantidade de informações por período de tempo limitado (Baddeley e Warrington, 1970). Nesse período, a informação é mantida por repetição no sistema de memória. Hoje se sabe que pacientes com danos nos giros supramarginal e angular do hemisfério esquerdo exibem uma memória verbal auditiva de curto prazo limitada, mas uma memória de longo prazo quase normal. A duração de sua memória para dígitos, palavras ou letras apresentadas auditivamente é muito reduzida; em tarefas que envolvem lembrança intencional, usualmente se recordam apenas do primeiro item de uma lista de dez itens. Comportam-se, contudo, normalmente em testes que envolvem associação entre pares de palavras (nos quais uma palavra é usada como “dica” para a recordação da outra) e his-

*m e m ó r i a*

tórias. Esse tipo de deficiência refletiria a perda específica de um armazenamento temporário que constitui um dos componentes do sistema de memória de curto prazo. Nesse período, a passagem do tempo é crítica, pois leva ao decaimento da retenção da informação. É um processo que depende intensamente de atenção. A memória de longo prazo, por sua vez, representa a capacidade de armazenar grande quantidade de informações por período indefinido de tempo; a atenção do indivíduo pode ser desviada da informação crítica sem prejuízo da memória. Acredita-se que as informações que são repetidas na memória de curto prazo poderiam resultar em memórias de longo prazo, num

processo denominado consolidação da memória (ver Xavier, 1993). Todavia, alguns pacientes com deficiência na memória a curto prazo são capazes de formar memórias de longo prazo, sugerindo uma independência entre esses sistemas.

Mais recentemente se passou a reconhecer a existência de um terceiro sistema de memória: a memória operacional. Essa memória parece situar-se entre a memória de curto prazo e a de longo prazo. Esse sistema de memória refere-se àquela memória que codifica o contexto temporal específico da informação e que pode ser “apagada” depois de ter sido utilizada (Olton *et al.*, 1979). Os testes usualmente empregados para avaliar a memória operacional envolvem al-

gum tipo de discriminação condicional. Por exemplo, um estímulo é apresentado e depois removido (fase de amostragem). Após um intervalo de tempo, duas ou mais alternativas são apresentadas (fase de escolha). A opção pela resposta correta depende dos (ou é condicional aos) eventos críticos apresentados na fase de amostragem (ver Xavier, 1993).

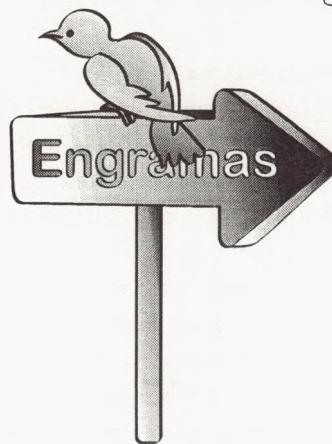
O sistema de memória de longo prazo possui dois tipos de memória. A memória explícita (ou declarativa) e a memória implícita (ou não-declarativa). A primeira refere-se à lembrança consciente de fatos e eventos da vida do indivíduo. A segunda representa uma coleção heterogênea de habilidades não-conscientes que incluem a aprendizagem de habilidades e hábitos, e algumas formas de condicionamento associativo simples. A memória declarativa, por sua vez, compreende dois subtipos de memória: a memória episódica, que representa fatos ou eventos experienciados nos contextos espacial e temporal específicos, incluindo informação autobiográfica; e a memória semântica, que se refere a conhecimentos que independem do contexto, como conhecimentos aritméticos, geográficos e históricos e o significado de palavras e conceitos. As habilidades e os hábitos compreendidos na memória implícita podem ser motores, perceptuais ou cognitivos; dela faz parte ainda o condicionamento que é expresso pela associação entre dois estímulos arbitrários em decorrência da sua apresentação pareada, fazendo com que a resposta inicialmente eliciada por apenas um dos estímulos passe a ser eliciada pelo outro estímulo (ver Tülvig, 1987; Xavier, 1993).

# estím

**Mais recentemente se  
passou a reconhecer a  
existência de um  
terceiro sistema de  
memória: a memória  
operacional**

## BIOLOGIA DA MEMÓRIA

Várias evidências experimentais têm apontado para o fato de que o treino ou a experiência são capazes de induzir alterações neuroquímicas e anatômicas no cérebro. Rosenzweig e colaboradores (ver Rosenzweig, 1996) foram alguns dos primeiros a apresentar evidências a esse respeito. Eles observaram, por exemplo, que ratos treinados e testados em problemas de resolução espacial apresentavam maiores níveis da enzima acetilcolinesterase (AChE) no córtex cerebral do que animais não treinados. Adicionalmente, Rosenzweig e seu grupo observaram que a simples oportunidade de aprendizagem informal por meio da criação em ambientes “enriquecidos” produzia um aumento de AChE em regiões específicas do córtex cerebral. Mais tarde, outros pesquisadores ampliaram esses achados, demonstrando que a experiência induzia aumentos na espessura cortical, no tamanho dos corpos e dos núcleos celulares, no tamanho das áreas de contato sináptico, no número das espinhas dendríticas, na arborização dendrítica (ver para revisão Rosenzweig, 1996). Entretanto, hoje é



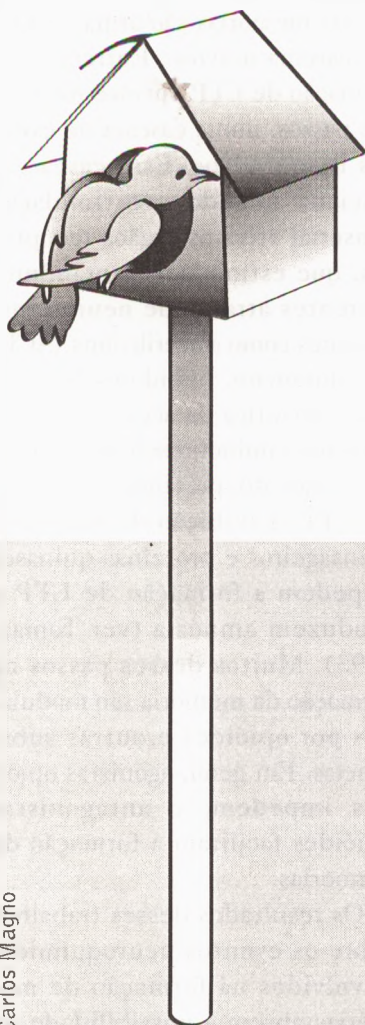
Carlos Magno

sabido que essas alterações dependem da área cerebral investigada e do tipo de treino ou de experiência pelo qual o organismo passa, podendo resultar em aumento no número e tamanho de sinapses, ou na diminuição no número e tamanho das sinapses. De qualquer forma, esses achados demonstram claramente que os processos de aprendizagem e de memória produzem alterações plásticas em áreas específicas do sistema nervoso.

Investigações sobre os processos por meio dos quais essas experiências produzem alterações plásticas na neuroquímica e na neuroanatomia cerebral evidenciaram o papel crítico da síntese de proteínas. Bennett e colaboradores (1964, 1976, *apud* Rosenzweig, 1996) descreveram que a experiência em ambientes enriquecidos causava um aumento na síntese de proteínas no córtex e de RNA. Essas evidências foram interpretadas como sendo a síntese de proteínas

uma condição para o armazenamento da memória. Mais tarde, vários pesquisadores demonstraram que a administração de inibidores da síntese de proteínas produzia amnésia (*e. g.* Flexner *et al.*, 1962; Tomaz *et al.*, 1982). Uma das possíveis explicações para essa amnésia seria decorrente do fato de que esses inibidores impediam a formação de potenciação de longa duração (LTP, do inglês, *long-term potentiation*). A LTP foi primeiramente descrita por Bliss e Lomo (1972) em porções do hipocampo de coelhos e representa o aumento duradouro na eficácia de uma sinapse provocado pela estimulação elétrica de uma via neural. A LTP é o melhor candidato fisiológico para explicar como as nossas memórias são armazenadas no sistema nervoso. Entretanto, a formação de LTP envolve diferentes passos, numa cascata de eventos bioquímicos. Essa cascata é iniciada quando a estimulação sensorial ativa os órgãos receptores, que estimulam os neurônios aferentes através de neurotransmissores como a acetilcolina (ACh) e o glutamato. Inibidores da atividade sináptica da acetilcolina, assim como inibidores de receptores de glutamato, previnem a indução de LTP. A inibição de segundos mensageiros e proteínas quinases impedem a formação de LTP e produzem amnésia (ver Tomaz, 1993). Muitos desses passos na formação da memória são modulados por opióides e outras substâncias. Em geral, agonistas opióides impedem, e antagonistas opióides facilitam a formação de memórias.

Os resultados desses trabalhos sobre os eventos neuroquímicos envolvidos na formação de memórias abrem a possibilidade do



Carlos Magno

desenvolvimento de terapias farmacológicas para o tratamento de distúrbios de memória. Várias pesquisas têm sido feitas nesse sentido. Entretanto, até o momento, nenhuma droga desenvolvida em laboratório apresentou um resultado inequívoco na facilitação da memória em sujeitos humanos.

#### ANATOMIA DA MEMÓRIA

Historicamente, a maioria da literatura referente aos correlatos neuronais da aprendizagem e da memória tem focalizado apenas uma pequena estrutura ou um pequeno conjunto de estruturas cerebrais. Hoje, parece claro que os traços de memória, para diferentes tipos de aprendizagem, não estão restritos a uma única estrutura cerebral (para revisão, ver Thompson *et al.*, 1984). Resultados de estudos recentes sustentam a hipótese de que diferentes regiões do cérebro, simultaneamente, processam estímulos do ambiente interno e externo (Squire, 1986; Squire e Zola-Morgan, 1991), e até mesmo os “localizados” traços de memória possivelmente incluiriam múltiplas regiões cerebrais, os quais poderiam ser distribuídos entre elementos ou conjuntos neuronais. Adicionalmente, investigações re-

centes por meio de técnicas não-invasivas têm apontado a participação de diferentes estruturas cerebrais na aquisição, consolidação e evocação de situações aprendidas. A figura 2 apresenta um quadro resumido desses principais achados.

Estudos de estimulação cerebral revelaram a significância do alerta e da motivação nos processos de aprendizagem e memória, mas não revelaram a localização do engrama. Olds e colaboradores (1972) estudaram centros de aprendizagem em cérebros de ratos mapeados pela medida das latências de respostas condicionadas. Foi observado, nesse estudo, que os “pontos de aprendizagem” eram largamente distribuídos e estavam presentes na ponte, mesencéfalo, diencéfalo, paleocórtex e córtex. Os limites de distribuição dessas áreas seguiam linhas anômicas claras. Ao longo da parte ventral do tronco cerebral, elas estavam presentes na formação pontina reticular, tegmento ventral e zona adjacente incerta. Do núcleo talâmico posterior havia uma continuação em duas direções: a) no corpo geniculado medial adjacente; b) pelos núcleos talâmicos lateral e parafascicular. No telencé-

FIGURA 2 – TIPOS DE MEMÓRIA

	EPISÓDICA (AUTOBIOGRÁFICA)	SEMÂNTICA	HÁBITOS/ CONDICIONAMENTOS
	PRINCIPAIS ESTRUTURAS NEURAIS		
<b>AQUISIÇÃO</b>	Sistema Límbico	Sistema Límbico/ Córtex Cerebral	Gânglios da Base/Cerebelo
<b>ARMAZENAMENTO</b>	Córtex Cerebral (áreas de associação)	Córtex Cerebral (áreas de associação)	Gânglios da Base/Cerebelo
<b>EVOCAÇÃO</b>	Córtex Temporo-Frontal	Córtex Temporo-Frontal	Gânglios da Base/Cerebelo

falo, esses neurônios aparecem no campo CA3 do hipocampo, mas estavam também presentes nas partes anterior, média e posterior do neocórtex.

A consolidação (temporária) da informação parece ser mediada por estruturas do lobo temporal anterior, incluindo o hipocampo, amígdala, córtex entorrinal e giro para-hipocampal. A formação hipocampal desempenha um importante papel no processamento da memória. A visão que tem emergido de estudos neuroanatômicos da anatomia hipocampal assegura que *inputs* poderiam chegar, através da via fímbria-fórnix ou pela via perforante, e ativar, direta ou indiretamente, os neurônios piramidais através do giro denteado e vias intrínsecas. Extensões igualmente importantes da circuitaria intrínseca são as projeções de CA1 para os córtices subiculares adjacentes, os quais são responsáveis por uma grande quantidade de *output* hipocampal, pelo menos em primatas não-humanos. McGeer e colaboradores (1978) propuseram duas vias hipocampais como sendo responsáveis pelas interconexões dentro do sistema límbico: a primeira seria o circuito clássico de Papez (hipocampo, fórnix, corpos mamilares do hipocampo, giro do cíngulo, giro para-hipocampal e amígdala). Segundo Papez (1937), essas estruturas desempenham um importante papel na gênese e expressão das emoções. Uma segunda via projeta-se de áreas corticais de associação, via giro do cíngulo e córtex entorrinal, para o hipocampo, e daí projeta-se, através do núcleo septal e núcleo talâmico medial, para o córtex pré-frontal, permitindo, assim, o armazenamento da informação, que possivelmente reverbera nos cir-

cuitos durante algum tempo. Entretanto, os traços de memória não são estabelecidos em sua forma final durante a aprendizagem, pois é necessário processar a informação por algum tempo após a aprendizagem. Todas as evidências disponíveis indicam que os traços de memória permanente ou a longo prazo não estão armazenados no hipocampo, mas sim nos córtices parietal e de associação (McGeer *et al.*, 1978).

Existem outras estruturas cerebrais que desempenham um papel igualmente importante nos processos de memória. Evidências indicam que o complexo amigdalóide também participa na mediação de respostas somatossensoriais e autonômicas em situações motivadas pelo medo (Le Doux, 1993). Resultados de estudos neurocomportamentais têm implicado conexões ligando áreas sensoriais neocorticais com a amígdala no processamento emocional (Le Doux, 1993). Áreas límbicas estão interconectadas com áreas de processamento sensorial do tálamo e do córtex. Os núcleos límbicos sensoriais conectados têm, portanto, uma posição privilegiada, formando uma interface sensório-motora, permitindo controlar

eventos ambientais a partir de respostas autonômicas, endócrinas e comportamentais que, por sua vez, são organizadas no prosencéfalo límbico. Acredita-se que estratégias de organização para o armazenamento da informação estão sob o controle do córtex pré-frontal. O armazenamento permanente da informação, por outro lado, presumivelmente toma lugar nas regiões de associação dos lobos temporal e parietal do neocórtex (McGeer *et al.*, 1978).

#### NEUROMODULAÇÃO DA MEMÓRIA

No caso da aprendizagem e da memória, parece razoável inferir que eventos cerebrais, correspondentes a processos como a recompensa, poderiam modular a natureza e a potência do armazenamento da memória. O valor da informação para um animal, e se a informação é ou não armazenada, depende, pelo menos em parte, de eventos que ocorreram após o registro da informação. Com base nessas observações, a modulação da memória por substâncias químicas é um fenômeno que tem sido estudado intensivamente (ver McGaugh, 1983). Em geral, drogas e/ou fármacos que influenciam a neurotransmissão no sistema nervoso

**Os traços de memória não são estabelecidos em sua forma final durante a aprendizagem, pois é necessário processar a informação por algum tempo após a aprendizagem**

são usados como instrumentos para a investigação dos mecanismos neuro-humorais envolvidos na formação da memória. Em animais de laboratório, um exemplo bem estudado é o da modulação da memória por hormônios periféricos. Observações do nosso cotidiano indicam que as experiências da nossa vida carregadas de um conteúdo emocional são mais facilmente armazenadas e lembradas. Sabe-se que durante essas situações emocionais ocorre a liberação sistêmica de catecolaminas e ACTH. Com base nessas informações, McGaugh e colaboradores (1983) desenvolveram desde a década de 1960 vários trabalhos mostrando que a administração de doses moderadas desses hormônios imediatamente após o aprendizado resultava numa facilitação da memória para esse evento. A administração de altas doses, por outro lado, prejudicava a memorização desse aprendizado, de forma semelhante ao que ocorre em situações altamente estressantes que resultam em uma amnésia anterógrada.

Estudos têm demonstrado a participação de outros sistemas neurotransmissores em nível do sistema nervoso central na modu-

lação da memória. Por exemplo, a administração, após o treino, em animais de laboratório, de antagonistas de receptores colinérgicos, glutamatérgicos tipo NMDA ou adrenérgicos produz um déficit de memória em diferentes paradigmas comportamentais. A administração de agonistas colinérgicos e adrenérgicos, por outro lado, causa geralmente uma facilitação dose-dependente da memória (ver para revisão Butcher *et al.*, 1992; Izquierdo *et al.*, 1988).

Um outro neurotransmissor importante na modulação da memória é o ácido gama-amino-butírico (GABA), o principal neurotransmissor inibitório no SNC de mamíferos. Injeções intra-amígdala de GABA-A, ou bancoflen (Castellano *et al.*, 1989), um agonista GABA-B, causam amnésia em ratos. As benzodiazepinas (BZD) agindo sobre o sistema GABA-BZD também apresentam efeitos amnésicos. Existe uma ampla literatura descrevendo a relação dose-efeito de uma variedade de BZDs sobre

os processos cognitivos (Lister, 1985; Thiebot, 1985; Cole, 1986; Izquierdo *et al.*, 1991). Logo após a introdução dos BZDs no mercado farmacêutico, pesquisadores observaram que o consumo dessas drogas produzia amnésia anterógrada, mesmo em doses prescritas com finalidades ansiolíticas, tanto em humanos (Lister, 1985) quanto em animais de laboratório (Thiebot, 1985). Esse tipo de amnésia, testada em uma variedade de paradigmas comportamentais, refere-se à incapacidade de armazenar a longo prazo novas informações. Em ratos, o principal sítio de ação dessas substâncias parece ser o complexo amigdalóide, em particular o núcleo basolateral (ver Tomaz *et al.*, 1991, 1992).

Os neuropeptídeos são outra classe de neuromoduladores que afetam a memória. Em virtude do nosso viés experimental, apresentaremos algumas considerações sobre o papel do neuropeptídeo substância P (SP) na modulação da memória e do reforçamento.

Observações do nosso cotidiano indicam que as experiências da nossa vida carregadas de um conteúdo emocional são mais facilmente armazenadas e lembradas



Um conjunto de evidências tem apontado para a SP como um possível modulador de processos mnêmicos, bem como de processos reforçadores (ver para revisão Tomaz *et al.*, 1990; Tomaz e Nogueira, 1997). Nesses estudos, vários paradigmas de aprendizagem (como esquivas inibitória, tarefas apetitivas, labirinto e condicionamento de habituação), modo de injeção: dentro de uma certa área cerebral; intracerebroventricular (i.c.v.); intraperitoneal (i.p.); subcutânea (s.c.) e variação no tempo de injeção em relação à tarefa (pré e pós-treino; pré-teste) foram empregados. Podemos dividir esses experimentos em dois grupos: o grupo no qual a SP foi administrada sistemicamente e o grupo no qual a SP foi administrada centralmente (intracerebral). Foi demonstrado, por exemplo, que a administração sistêmica, pós-treino, de SP facilita o desempenho de uma tarefa de esquiva em ratos e camundongos (ver para revisão Tomaz *et al.*, 1990). Esses efeitos foram tempo e

## EXPERIMENTOS

dose-dependentes. Entretanto, não foram encontrados efeitos quando a SP foi injetada antes do treino, 2-5 horas após o treino ou uma hora antes do teste de retenção (Schlesinger *et al.*, 1983 b; Tomaz e Huston, 1986). A SP parece interagir com o sistema opioide, mas a exata direção do efeito não está clara. Schlesinger e colaboradores (1983 a) reportaram que o bloqueador opioide naltrexona inibe os efeitos facilitadores da SP em camundongos. Em ratos, o pré-tratamento com naloxona facilita o desempenho de uma tarefa de esquivas inibitória (Nogueira e Tomaz, 1990; Tomaz *et al.*, 1990). Foi demonstrado que a SP facilita a aquisição de uma tarefa num labirinto aquático em ratos idosos que exibiram um déficit de aprendizagem (Hasenöhrhl *et al.*, 1990), além de reverter a amnésia induzida por choque eletroconvulsivo (Schlesinger *et al.*, 1983 b) ou pelo pré-tratamento com diazepam (Costa e Tomaz, 1998).

A administração intracerebral de SP também afeta a aprendizagem de esquivas condicionadas, embora esses efeitos dependam do sítio de administração. Por exemplo, a administração de SP em regiões vizinhas ao septo ou feixe

prosencefálico medial facilita a retenção, enquanto injeções na amígdala ou substância negra prejudicam a retenção de hábitos de esquivas condicionadas (ver para revisão Huston e Stäubli, 1981; Huston *et al.*, 1993). O fato de a SP apresentar tanto efeitos facilitadores quanto prejudiciais sobre os processos de aprendizagem e memória levou à hipótese de os efeitos da SP nesses processos estarem subordinados às propriedades aversivas ou recompensadoras de determinadas regiões cerebrais. Isto é, a SP pode ter efeitos reforçadores positivos (facilitadores da aprendizagem) ou negativos (prejudiciais à aprendizagem), dependendo do sítio cerebral na qual ela irá exercer sua atividade. Essa hipótese está de acordo com a teoria central do reforço (Huston *et al.*, 1977), a qual sugere que reforçadores com valor positivo, após o treino de uma determinada tarefa, facilitam a aquisição e a consolidação da mesma, enquanto estímulos com propriedades aversivas ao organismo tendem a prejudicar essa aprendizagem e sua consolidação.

Evidências de que os fragmentos N-terminal (SP 1-7) e C-terminal (SP 6-11) do neuropeptídeo



SP apresentam efeitos opostos em alguns comportamentos (Hall e Stewart, 1983) levaram alguns pesquisadores a investigar se esses fragmentos também apresentariam efeitos diferenciados sobre a memória. O resultado desses estudos mostrou que a administração periférica (Hasenörhl *et al.*, 1990; Tomaz *et al.*, 1997) do fragmento N-terminal, bem como a sua administração no núcleo *basalis magnocellularis* (NBM) (Gerhardt *et al.*, 1992), facilita a aprendizagem de uma tarefa de esquiiva inibitória. Por outro lado, estudos com o fragmento C-terminal têm demonstrado que esse fragmento apresenta propriedades reforçadoras, sem influenciar processos mnêmicos (Oitzl *et al.*, 1990). Esses resultados sustentam a hipótese de uma especificidade dos fragmentos da SP em relação aos seus efeitos sobre a memória e o reforço.

### OBSERVAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento das técnicas não-invasivas de monitoração da atividade cerebral (por exemplo, a ressonância magnética funcional) tem permitido um grande avanço no conhecimento do substrato neural da memória. A década de 1990 foi eleita como a década do cérebro. Na neurociência nenhum outro objeto de estudo tem despertado maior interesse do que a memória. O conhecimento acumulado nesta última década permitiu-nos mapear algumas regiões do cérebro e sistemas neurotransmissores intimamente envolvidos no processamento de alguns tipos de memória. A investigação experimental associada à pesquisa clínica poderá levar, num futuro próximo, ao desenvolvimento de novas formas de terapia que nos permitam aliviar os déficits cognitivos, em especial aqueles relativos à memória. Entretanto, esse conhecimento acumulado nos últimos anos tem-nos mostrado que ainda temos um longo caminho pela frente. As ciências biológicas têm apresentado um grande avanço com a elucidação de como os seres vivos armazenam informação genética. Após a elucidação do código genético, esperava-se que a outra grande questão, envolvendo memória nos organismos vivos, fosse facilmente resolvida por princípios similares aos aplicados à genética. Contudo, este não parece ser o caso. A biologia molecular tem contribuído para desvendar alguns passos dessa cadeia de eventos que é a formação da memória. Da mesma forma, a fisiologia dos sistemas, a bioquímica e a neurofarmacologia têm contribuído. O somatório dessas contribuições, entretanto, são apenas peças de um grande quebra-cabeças.

Acreditamos que somente uma abordagem integrativa que sobreponha o simples somatório das partes nos dará uma visão mais completa do fenômeno da memória. Dois mil e quinhentos anos de ponderação sobre a relação cérebro-comportamento permitiram-nos avançar na constituição da neurociência. Cremos que essa abordagem, integrando o conhecimento da psicologia, da psiquiatria, da física e das ciências biológicas, nos levará a compreender melhor os domínios da mente e de seu órgão, o cérebro. \*

### CARLOS ALBERTO TOMAZ

Professor titular do Departamento de Ciências Fisiológicas, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.

### JOSEANE CARVALHO COSTA

Professora assistente do Departamento de Fisiologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará.

## referências bibliográficas

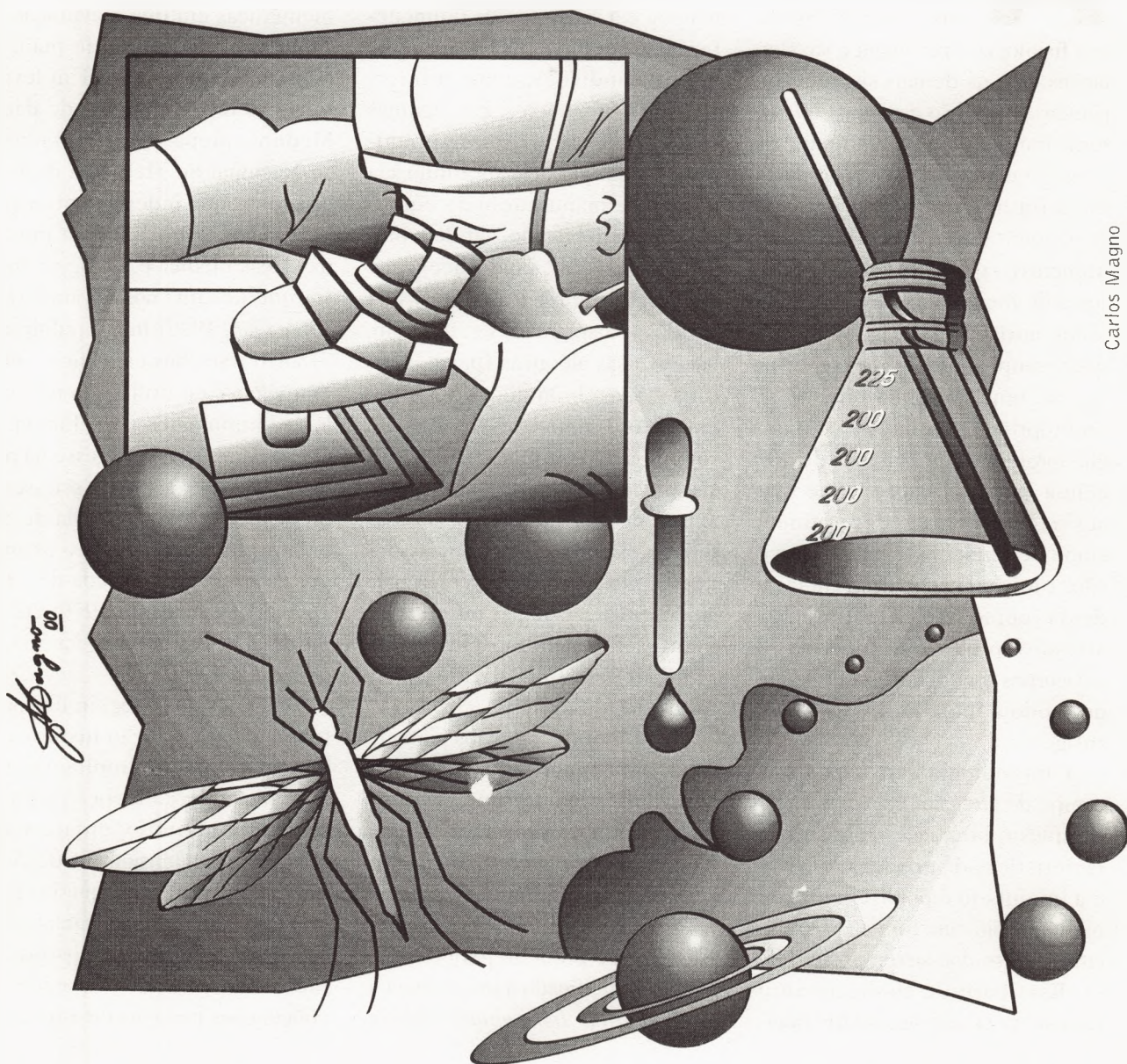
- AQUINO, R. S. L., ALVARENGA, F. J. M., FRANCO, D. A., LOPES, O. G. P. C. 1983. "Penso, logo existo: a revolução científica no século XVII". *História das sociedades: das sociedades modernas às sociedades atuais*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, p. 89-98.
- BADDELEY, A. D., WARRINGTON, E. K. 1970. Amnesia and the distinction between long – and short – term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9 (2): 176-189.
- BLISS, T. V. P., LOMO, T. 1972. Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *Journal of Physiology (London)*, 232: 331-356.
- BUTCHER, L. L., DECKER, M., LEWIN, E. 1992. *Neurotransmitters interactions and cognitive function*. Cambridge (MA): Birkhäuser Boston Inc.
- CASTELLANO, C., BRIONI, J. D., NAGAHARA, A., MCGAUGH, J. L. 1989. Post-training systemic and intra-amygdala administration of the GABA-B antagonist baclofen impairs retention. *Behavioral and Neural Biology*, 52: 170-179.
- COLE, S. O. 1989. Effects of benzodiazepines on acquisition and performance: a critical assessment. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 10: 265-272.
- COSTA, J. C., TOMAZ, C. 1998. Post-training administration of substance P and its N-terminal fragment (SP1-7) blocks the amnesic effects of diazepam. *Neurobiology of Learning and Memory*, 69: 65-70.
- DARWIN, C. 1959. *On the origin of species by means of natural selection* (6ª ed., 1972). Londres: Murray.
- FINGER, S. 1994. "The nature of memory trace". Em FINGER, S. (ed.). *Origins of neuroscience: a history of exploration into brain function*. Nova York: Oxford University Press, p. 332-348.
- FLEXNER, J. B., FLEXNER, L. B., STELLAR, E., DE LA HABA, G., ROBERTS, R. B. 1962. Inhibition of protein synthesis in brain and learning and memory following puromycin. *Journal of Neurochemistry*, 9: 595-605.
- GERHARDT, P., HASENÖHRL, R. U., HUSTON, J. P. 1992. Enhanced learning produced by injection of neurokinin substance P into the region of the nucleus basalis magnocellularis: mediation by the N-terminal sequence. *Experimental Neurology*, 118: 302-308.
- HALL, M., STEWART, J. 1983. Substance P and behavior: opposite effects of the N-terminal and C-terminal fragments. *Peptides*, 4: 763-768.
- HASENÖHRL, R. U., GERHARDT, P., HUSTON, J. P. 1990. Substance P enhancement of inhibitory avoidance learning: mediation by the N-terminal sequence. *Peptides*, 11: 163-167.
- HEBB, D. O. 1949. *Organization of behavior: a neuropsychological theory*. Nova York: Wiley.
- HUSTON, J. P., HASENÖHRL, F., BOIX, F., GERHARDT, P., SCHWARTING, R. K. W. 1993. Sequence-specific effects of neurokinin substance P on memory, reinforcement and brain dopamine activity. *Pharmacology*, 112: 147-162.
- HUSTON, J. P., MUELLER, C. C., MONDADORI, C. 1977. Memory facilitation by post-trial hipotalamic stimulation and other reinforcers: a central theory of reinforcement. *Biobehavioral Reviews*, 1: 143-150.
- HUSTON, J. P., STÄUBLI, U. 1981. "Substance P and its effects on learning and memory". Em MARTINEZ, J. L., JENSEN, R. B., RIGTER, H., MCGAUGH, J. L. (eds.). *Endogenous peptides and learning and memory process*. Nova York: Academic Press, p. 521-540.
- IZQUERDO, I., NETTO, C. A., DALMAZ, C., CHAVES, M. L. F., PEREIRA, M. E., SIEGFREID, G. 1988. Construction and reconstruction of memories. *Brazilian Journal of Biological and Medical Research*, 21: 9-25.
- IZQUERDO, I., MEDINA, J. H., DA CUNHA, C., WOLFMAN, C., JERUSALYNSKY, D., FERREIRA, M. B. C. 1991. Memory modulation by brain benzodiazepines. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 24: 865-881.
- LASHLEY, K. 1950. In search of the engram. *Symposium of the Society for Experimental Biology*, 4: 454-482.
- LE DOUX, J. E. 1993. Emotional memory systems in the brain. *Behavioural Brain Research*, 58: 69-79.
- LISTER, R. G. 1985. The amnesic action of benzodiazepines in man. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 9: 87-94.
- MCGAUGH, J. L. 1983. Hormonal influences on memory. *Annual Review*

- view of Psychology, 34: 161-174.
- McGEER, P. L., ECCLES, J. C., McGEER, E. G. 1978. Molecular neurobiology of the mammalian brain. Nova York: Plenum.
- MORRIS, R. G. M., KANDEL, E. R., SQUIRE, L. R. 1988. The neuroscience of learning and memory: cells, neural circuits and behavior. Trends in Neuroscience, 11: 125-127.
- NOGUEIRA, P. J. C., TOMAZ, C. 1990. Substance P and naloxone enhancement of avoidance conditioning in rats. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 23: 163-167.
- OITZL, M.-L., HASENÖRHL, R. U., HUSTON, J. P. 1990. Reinforcing effects of peripherally substance P and its C-terminal sequence pGlu-SP6-11 in the rat. Psychopharmacology, 100: 308-315.
- OLDS, J., DISTERHOFT, J. F., SEGAL, M., KORNBLITH, C. L., HIRSH, R. 1972. Learning centers in the rat brain by measuring latencies of conditioned unit response. Journal of Neurophysiology, 35: 202-219.
- OLTON, D. S., BECKER, J. T., HANDELMAN, G. E. 1979. Hippocampus, space and memory. Behavioral Brain Sciences, 2: 15-65.
- PENFIELD, W. 1969. On the biology of learning. Em PRIBRAM, K. H. (ed.) Nova York: Harcourt, Brace & World, p. 129-168.
- ROSENZWEIG, M. R. 1996. Aspects of the search for neural mechanisms of memory. Annual Review of Psychology, 47: 1-32.
- SCHLESINGER, K., LIPSITZ, D. U., PECK, P. L., PELLEYMOUNTER, M. A., STEWART, J. M., CHASE, T. M. 1983 a. Substance P enhancement of passive and active avoidance conditioning in mice. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 19: 655-661.
- \_\_\_\_\_. 1983 b. Substance P reversal of electroconvulsive shock and cyclohexamide-induced retrograde amnesia. Behavioral and Neural Biology, 39: 30-39.
- SCOVILLE, W. B., MILNER, B. 1957. Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. Journal of Neurological Neurosurgery and Psychiatry, 20: 11-21.
- SEMON, R. W. 1904. Die Mneme als erhaltendes Prinzip in Wechsel des organischen Geschehens. Leipzig: Engelmann.
- SQUIRE, L. R., DAVIS, H. P. 1981. The pharmacology of memory: a neurobiological perspective. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 21: 323-356.
- SQUIRE, L. R., ZOLA-MORGAN, S. 1991. The medial temporal lobe memory system. Science, 253: 1380-1386.
- THIEBOT, H. M. 1985. Some evidence for amnesic-like effect of benzodiazepines in animals. Neuroscience Biobehavioral Review, 9: 95-100.
- THOMPSON, J. K. 1984. "Neuronal substrates of learning and memory: a 'multiple trace' view". Em LYNCH, G., McGAUGH, J. L., WEINBERGER, N. (eds.). Neurobiology of learning and memory. Nova York: Guilford Press.
- TOMAZ, C. 1993. Memória: mecanismos celulares. Ciência Hoje, 94: 6-7.
- TOMAZ, C., AGUIAR, M. S., NOGUEIRA, P. J. C. 1990. Facilitation of memory by peripheral administration of substance P and naloxone using avoidance and habituation learning tasks. Neuroscience Biobehavioral Reviews, 14: 447-453.
- TOMAZ, C., DICKSON-ANSON, H., McGAUGH, J. L. 1991. Amygdala lesions block the amnesic effects of diazepam. Brain Research, 568: 85-91.
- \_\_\_\_\_. 1992. Basolateral amygdala lesions block diazepam-induced anterograde amnesia in an inhibitory avoidance task. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 89: 3615-3619.
- TOMAZ, C., HUSTON, J. P. 1986. Facilitation of a conditioned inhibitory avoidance by post-trial peripheral injection of substance P. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 25: 469-472.
- TOMAZ, C., NOGUEIRA, P. J. C. 1997. Facilitation of memory by peripheral administration of substance P. Behavioural Brain Research, 83: 143-145.
- TOMAZ, C., SILVA, A. C. F., NOGUEIRA, P. J. C. 1997. Long-lasting mnemotropic effects of substance P and its N-terminal fragment (SP1-7) on avoidance learning. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 30: 231-233.
- TOMAZ, C., VENTURA, D. F., LEITE, J. R. 1982. Effects of sodium barbitone on learning and memory-storage of an aversive and appetitive task. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 17: 909-913.
- TULVING, E. 1987. Multiple memory systems and consciousness. Human Neurobiology, 6: 67-80.
- XAVIER, G. F. 1993. A modularidade da memória e o sistema nervoso. Psicologia USP. São Paulo, 4 (1/2): 61-115.

# *a imunologia e a multidimensionalidade do sistema imunitário*

**Carlos Eduardo Tosta**

Carlos Magno





# IMUNOLOGIA

**A** imunologia é o ramo das ciências biomédicas que trata do estudo do sistema imunitário: suas células e órgãos, sua fisiologia e patologia e suas relações com os demais sistemas orgânicos. A função essencial do sistema imunitário é a manutenção da homeostase, ou seja, o equilíbrio do meio interno do organismo. Para isso, conta com células – os linfócitos – que apresentam receptores de membrana capazes de detectar antígenos. Antígeno é qualquer componente do meio externo (p. ex., uma toxina bacteriana) ou do próprio organismo (p. ex., uma glicoproteína da membrana de uma célula tumoral) capaz de se ligar aos receptores de determinado clone de linfócitos e induzir ativação, proliferação e diferenciação dessa população. Os linfócitos ativados produzem proteínas – anticorpos e citocinas – que atuam de modo a inativar ou destruir o antígeno.

A imunologia tem um amplo campo de atuação. Pelo estudo das complexas interações celulares características da ativação do sistema imunitário é possível entender melhor a biologia humana e o funcionamento dos sistemas de defesa. Essa base de conhecimentos tem-se mostrado necessária para o

desenvolvimento de novos processos de vacinação, capazes de permitir ao organismo se livrar de infecções de grande impacto, como a malária e a síndrome da imunodeficiência adquirida (Sida), ou mesmo de condições, como a infertilidade e os tumores. Em algumas circunstâncias, o sistema imunitário, como que descumprindo sua missão de manutenção do equilíbrio do meio interno, agride o próprio organismo, como acontece nas reações de rejeição a órgãos ou tecidos transplantados e, também, nas doenças alérgicas (p. ex., urticária e asma brônquica) e nas doenças auto-imunes (p. ex., artrite reumatóide e lupus eritematoso sistêmico). Há, portanto, a necessidade de se entender em profundidade os mecanismos envolvidos nesses processos de agressão para se desenvolver drogas ou procedimentos capazes de deprimir ou eliminar essa função indesejável do sistema imunitário.

Os primeiros trabalhos científicos sobre imunologia começaram a ser publicados no fim do século XIX; no início do século XX, os *Annales de l'Institut Pasteur* eram quase completamente devotados ao assunto e, em 1908, surgiu na Alemanha o primeiro periódico totalmente dedicado à imunologia, o *Zeitschrift für Immunitätsforschung*,

seguido em 1916 pelo *Journal of Immunology*, publicado nos Estados Unidos. Atualmente, a imunologia constitui uma das áreas biomédicas em que a evolução do conhecimento ocorre de maneira mais rápida e intensa. Um levantamento feito no banco de dados Medline, preparado pela Biblioteca Nacional de Medicina de Washington e que indexa os principais periódicos publicados no mundo nas áreas médica e biológica, mostra que nos últimos 34 anos (jan. 1966 a jan. 1999) foram publicados 778.410 trabalhos científicos sobre imunologia, ou utilizando metodologia imunológica (ver Tabela 1). O crescimento do interesse na pesquisa imunológica pode ser atestado pela evolução da média de trabalhos publicados sobre o assunto por ano: 6.659 na década de 1960; 16.148 na década de 1970; 26.912 na década de 1980 e 35.534 na década de 1990.

Será traçado, a seguir, um paralelo entre a evolução histórica do conhecimento imunológico e as mudanças de concepção sobre o sistema imunitário, enfatizando-se sua multidimensionalidade. A Tabela 2 apresenta um quadro geral do tema, incluindo as características, os mediadores envolvidos e os métodos de estudo, baseado nas concepções pessoais do autor.

isto é, isento do pagamento de impostos) à doença. Esse fato já era do conhecimento comum em civilizações avançadas como a grega. O grande historiador Tucídides, ao descrever a epidemia de peste (causada por bactéria transmitida pelas pulgas de ratos) que se abateu sobre Atenas em 430 a. C., notou que eram aqueles que haviam se recuperado da doença que cui-

davam dos enfermos e agonizantes, já que "... a mesma pessoa jamais era atacada uma segunda vez, pelo menos de modo fatal". Lamentavelmente este não era o caso de Tucídides, que morreu de peste antes de concluir sua monumental obra.

A exemplo da peste, também a varíola, um outro flagelo da humanidade, deixava os sobreviventes imunes à reinfecção. Essa virose, que causava a morte de 20% dos acometidos e cicatrizes cutâneas definitivas nos sobreviventes, foi a

**TABELA 1**  
TRABALHOS SOBRE IMUNOLOGIA OU UTILIZANDO METODOLOGIA IMUNOLÓGICA PUBLICADOS PELOS PRINCIPAIS PERIÓDICOS CIENTÍFICOS DO MUNDO, SEGUNDO PESQUISA NO BANCO DE DADOS MEDLINE, DA BIBLIOTECA NACIONAL DE MEDICINA DOS EUA, NO PERÍODO DE JANEIRO DE 1966 A JANEIRO DE 1999.

DÉCADA	TOTAL DE TRABALHOS	MÉDIA ANUAL
1960	26.639	6.659
1970	161.480	16.148
1980	269.121	26.912
1990	321.170	35.534
<b>TOTAL</b>	<b>778.410</b>	<b>22.894</b>

<sup>1</sup> Alguns livros-texto de imunologia apresentam capítulos sobre o conhecimento do fenômeno imunológico entre os povos antigos. Um dos melhores é o de J. H. Humphrey e R. G. White, *Immunology for students of medicine*, 2ª ed., Oxford, Blackwell, 1963. Outros: 1) D. W. Talmage, "History of immunology", em D. P. Stites e A. I.

### PRIMEIRA DIMENSÃO: FENOMENOLÓGICA <sup>1</sup>

Muito antes de a imunologia se estabelecer como ciência, o conhecimento do fenômeno imunológico já era utilizado em benefício do bem-estar do homem, ajudando-o a superar agravos à sua saúde. Esta *proto*-imunologia fundamentava-se na observação do fenômeno, e suas intervenções baseavam-se no processo de tentativas e erros, ou seja, no empirismo.

É possível que mesmo nas sociedades mais primitivas já se observasse que aqueles que sobreviviam a certas doenças infecciosas ficavam protegidos de reinfecções e, se as apresentassem, tinham quadro clínico brando. Ou seja, tornavam-se "imunes" (do latim *immunis*,

**TABELA 2**  
EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO IMUNOLÓGICO E O CONCEITO DE MULTIDIMENSIONALIDADE DO SISTEMA IMUNITÁRIO

DIMENSÕES	ÊNFASE	CARACTERÍSTICAS	MEDIADORES	MÉTODO
Primeira	Fenomenologia	Observação do fenômeno	—	Empírico
Segunda	Mecanismo	Resposta imunitária	Células e moléculas	Dedutivo
Terceira	Intraconexões	Redes idiotípicas	Receptores e ligantes	Dedutivo-indutivo
Quarta	Interconexões Transconexões	Rede INE <sup>1</sup>	Citocinas, Hormônios, NP <sup>2</sup>	Dedutivo-indutivo
Quinta	Metaconexões	Mente e sistema INE	NP, outros (?)	Indutivo-dedutivo
Enésima		Ligações cósmicas	Metenergia?	Indutivo

<sup>1</sup>INE: imunoneuroendócrino. <sup>2</sup>NP: neuropeptídeos

primeira doença infecciosa a ser alvo de intervenção imunológica. Embora existam imprecisões quanto à descrição da doença nos textos antigos, o que dificulta sua correta identificação, os historiadores estão certos de que chineses e indianos praticavam a “variolição” para proteger os não-infectados dos terríveis danos da varíola. Consistia em colher as crostas das lesões mais benignas dos indivíduos em processo de cura, transformá-las em pó e inocular o material na pele ou através de aspiração por um pequeno tubo de prata. Os homens usavam a narina esquerda e as mulheres a direita. A variolição já era adotada pelos indianos nos primeiros séculos de nossa era. Talvez da Índia o procedimento tenha passado para a China, onde é descrito, no ano de 1014, por

Wang Tan. Posteriormente foi muito popular na Turquia, principalmente para manter livres das desfigurantes cicatrizes da varíola as candidatas aos haréns dos poderosos. Daí foi levada para a Inglaterra, de onde a variolição se popularizou por toda a Europa do século XVIII, quando acometia sessenta em cada cem pessoas, das quais vinte morriam. Entretanto, o procedimento de variolição era arriscado, podia causar a doença ou mesmo ser letal, matando 4% daqueles que a ele se submetiam.

Mais uma vez, o poder de observação do homem e sua capacidade de relacionar causa e efeito renderam frutos para a humanidade. No mesmo século XVIII em que o processo de variolição foi introduzido na Inglaterra e a varíola não poupava nem plebeus nem

aristocratas, fazendeiros ingleses fizeram uma observação de alta relevância: aqueles que se contaminavam com a varíola de vaca (*vaccinia*) durante a ordenha apresentavam lesões benignas nas mãos, que se curavam espontaneamente, e ficavam protegidos da terrível varíola. Numa época em que se desconhecia o caráter infeccioso da varíola humana ou bovina e não se imaginava a natureza do processo de imunização, essa observação popular abriu espaço para um processo de intervenção imunológica mais seguro que a variolição. Em 1774 um fazendeiro inoculou o braço de sua esposa com material colhido de lesão bovina e, pouco mais de vinte anos depois, o médico inglês Edward Jenner (1749-1823) realizou um experimento crucial: inoculou um jovem com o material de lesão bovina e, por meio de posterior inoculação com material de pústula de indivíduo com varíola, demonstrou que havia proteção. Experimentos desse tipo seriam irrealizáveis em épocas mais recentes, em razão das regras de ética de pesquisa adotadas pela comunidade científica, mas não há dúvida de que as observações de Jenner, publicadas às suas custas em 1798, quando lançou o termo “vacinação” (de vaca), constituíram as bases da moderna vacino-

Terr (eds.), *Basic and clinical immunology*, 7ª ed., Norwalk, Appleton & Lange, p. 1-8, 1991; 2) P. Grabar, “The historical background of immunology”, em D. P. Stites, J. D. Stobo, J. V. Wells (eds.), *Basic and clinical immunology*, 6ª ed., Norwalk, Appleton & Lange, p. 3-14, 1987; 3) J. M. Dwyer, “Immunology: a historical perspective”, em L. H. Sigal e Y. Ron (eds.), *Immunology and infla-*

*mmation. Basic mechanisms and clinical consequences*, Nova York, McGraw-Hill, p. 11, 1994. Livros sobre história da medicina, como o de A. Bernardes de Oliveira, *A evolução da medicina*, São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1981, e o de F. F. Cartwright e M. D. Biddiss, Nova York, Barnes & Noble, 1972, contêm valiosas informações sobre o impacto das doenças infecciosas entre os povos antigos.

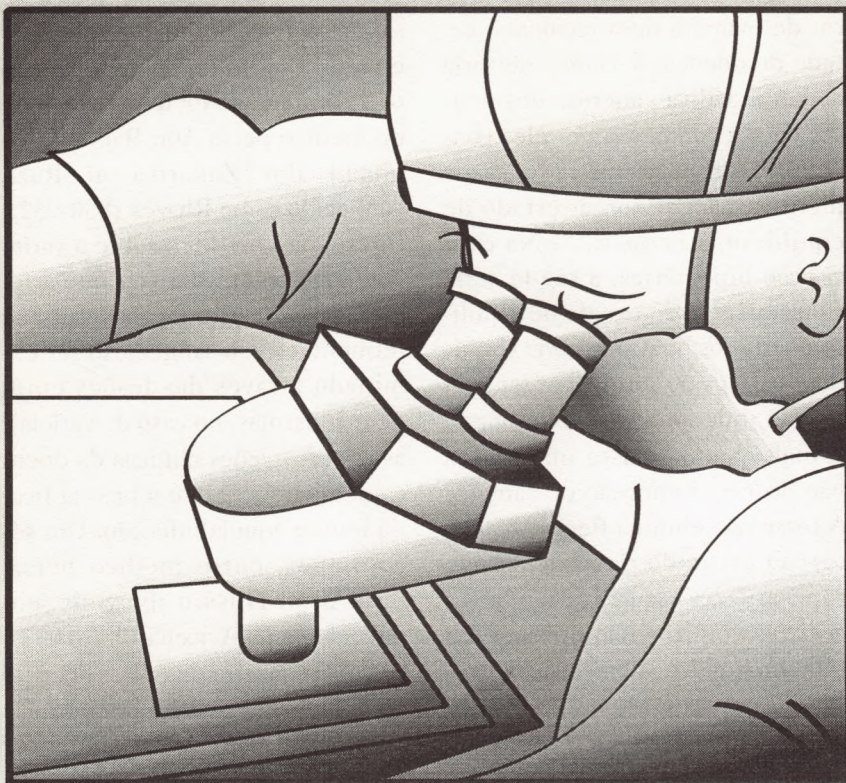
logia. Duzentos anos mais tarde, a varíola seria erradicada da face da Terra utilizando-se exclusivamente o processo de vacinação. Até hoje, é a única doença infecciosa completamente controlada pelo homem.

Nesse longo período de vários milênios em que se conhecia o fenômeno imunológico e esse conhecimento era utilizado em benefício da saúde dos homens por meio de procedimentos como a variolização e a vacinação, desconhecia-se a natureza da imunidade. Como as doenças, especialmente as grandes pragas que causavam enormes perdas de vida, eram tidas como castigos de Deus pelos pecados cometidos, a cura era entendida como perdão. Quanto maior o pecado, pior a doença, mais difícil a cura e maior o perdão para alcançá-la. Tão grande seria o impacto do perdão (a cura), que a pessoa perdoada (curada) ficaria livre de pecar outra vez (re-adoeecer). Estaria, portanto, imune. Embora essa explicação satisfizesse o clero e os crentes dos primeiros tempos do cristianismo, não convenciam à classe médica da época, intensamente influenciada pelos ensinamentos hipocráticos. Hipócrates, nascido em 460 a. C. na ilha grega de Cos, deu nova interpretação ao conceito de saúde e criou um sistema capaz de expli-

car de maneira mais racional o estado de doença. A saúde “deixaria de ser a dádiva generosa dos deuses ou a recompensa por eles concedida, em paga dos individuais méritos, para se tornar estado de equilíbrio, a *isonomia*...”. Na concepção hipocrática, a saúde seria consequência do estado de equilíbrio entre os quatro *humores* (líquidos) básicos do indivíduo: sangue, flegma, bile amarela e bile negra. Afinal, quando existe uma ferida não ocorre eliminação de sangue? A tosse não elimina flegma (catarro)? O estímulo da vesícula não torna as fezes escuras pela bile negra? Os vômitos não eliminam a bile amarela? A doença seria causada pelo acúmulo excessivo de determinado *humor*, e a reação do organismo (e tentativa do médico) seria eliminar esse excesso para permitir o retorno ao estado de

saúde. A ligação entre a teoria do equilíbrio dos líquidos e o conceito de imunidade foi feita pelo grande médico persa Abu Bakr Muhammad ibn Zakariya al Razi, conhecido como Rhazes (850-932). Em seu famoso livro sobre a varíola e o sarampo, teorizou que a febre associada às infecções causaria fermentação do sangue. Ao ser eliminado através das lesões cutâneas (pústulas, no caso da varíola), as manifestações clínicas da doença desapareceriam e a pessoa ficaria imune àquela infecção. Um século após, outro médico persa, Abu-Ali al-Husain ibn Sina, conhecido como Avicena (980-1037), lançou o conceito de que as doenças poderiam ser causadas por germes, que seriam pequenas sementes (*seminaria*) que se desenvolveriam em determinados órgãos e poderiam passar de uma pessoa para

**Como as doenças, especialmente as grandes pragas que causavam enormes perdas de vida, eram tidas como castigos de Deus pelos pecados cometidos, a cura era entendida como perdão**



outra. Cinco séculos depois, o médico italiano Girolamo Fracastoro observava em seu livro *Sobre o contágio* (1546) que o sangue menstrual – que contaminaria todos os recém-nascidos – era facilmente fermentado pela “semente” da varíola e eliminado através de pústulas. A partir desse momento, as pessoas ficariam livres do substrato para o desenvolvimento do germe e, conseqüentemente, imunes. Nos séculos XVII e XVIII, a idéia dominante era de que os seres humanos nasceriam com os germes (*ovula*) capazes de causar todas as doenças. Ao entrar em contato, por meio de contágio, com o substrato específico, os germes desenvolver-se-iam, causariam a doença e seriam eliminados durante o processo mórbido, deixando o organismo livre da ação de novos contágios. Como se vê, apesar de suas variações, as teorias antigas associavam a aquisição da imunidade à eliminação,

pelo organismo, de algum componente essencial para o desenvolvimento da doença, ou o germe ou seu substrato específico. Essas idéias prevaleceram até o fim do século XIX e mesmo Pasteur propôs que os microorganismos causariam imunidade por depleção de elementos essenciais para seu desenvolvimento no organismo. Os mecanismos de imunidade seriam esclarecidos em grande parte graças à contribuição de Pasteur para a validação da Teoria dos Germes e a seus experimentos de vacinação.

#### SEGUNDA DIMENSÃO: MECANICISTA <sup>2</sup>

Decorreram mais de oitocentos anos, desde o tempo de Avicena, para que a idéia de que organismos invisíveis a olho nu poderiam transmitir doenças – a Teoria dos Germes – fosse validada. Isso ocorreu na segunda metade do século XIX, com o desenvolvimento do microscópio e com a aplicação do método experimental, que per-

<sup>2</sup> As características básicas do sistema imunitário, sua fisiologia e patologia, são os principais temas tratados nos livros-texto de imunologia. Alguns bons exemplos: 1) C. A. Janeway e P. Travers, *Immunobiology. The immune system in health and disease*, Londres, Current Biology Ltd, 3ª ed., 1997; 2) A. K. Abbas, A. H. Lichtman e J. S. Pober, *Cellular and molecular immunology*, Philadelphia, W. B. Saunders Co., 3ª ed., 1997; 3) D. P. Stites, A. I. Terr e T. G. Parslow (eds.), *Medical immunology*, Stanford, Appleton & Lange, 9ª ed., 1997; 4) J. Kubis, *Immunology*, Nova York, W. H. Freeman, 3ª ed., 1997; 5) W. E. Paul

mitiu comprovar que os microorganismos visualizados pela microscopia eram os causadores de doenças. Devemos ao esforço, à inteligência e à intuição do químico francês Louis Pasteur (1822-1895) e a seus discípulos as observações cruciais que fundamentaram a transformação da imunologia em ciência, pelo esclarecimento dos mecanismos básicos de imunidade. Pasteur apresentava uma mente privilegiada, sempre à espreita de soluções práticas. Começou sua vida profissional esclarecendo aspectos relacionados à fermentação do vinho, permitindo melhorar a qualidade do vinho francês; em seguida contribuiu para solucionar problema associado à infecção do bicho-da-seda, dessa vez melho-

rando a produção de seda de seu país. Provou em 1864 que a teoria da geração espontânea era falsa. Passou em seguida a estudar as infecções de animais (ovinos e aves). Em uma ocasião, enquanto estudava a *Pasteurella aviseptica* (agente da “cólera aviária”), observou que uma cultura deixada no laboratório durante suas férias não só era incapaz de induzir a doença, como protegia as aves contra a inoculação de bactérias com virulência preservada. Estava, assim, comprovada a possibilidade de se imunizar utilizando-se microorganismos atenuados. Em homenagem ao precursor Jenner, Pasteur passou a chamar o processo de vacinação. Posteriormente, demonstrou-se que mesmo microorganismos mortos

(Theobald Smith, 1859-1934), assim como produtos contidos no sobrenadante de cultivo da bactéria da difteria (von Behring e Kitasato), eram capazes de induzir imunização.

A descoberta em 1890, feita pelo alemão Emil von Behring e pelo japonês Shibasuburo Kitasato, de que o sangue de animais imunizados com produtos do bacilo da difteria continha algo capaz de neutralizar o efeito da toxina diftérica foi crítica para o esclarecimento dos mecanismos de imunidade. A essa antitoxina foi aplicado o termo *anticorpo*, posteriormente estendido para outras proteínas produzidas em resposta à introdução no organismo de indutores de imunidade, os *antígenos*. Acreditava-se, na ocasião, que a característica especificidade dos anticorpos seria em virtude da capacidade de os antígenos induzirem modificações conformacionais nos anticorpos, de modo que permitissem o encaixe dos dois, a exemplo de chave e fechadura. O mistério da especificidade dos anticorpos passou a ser esclarecido a partir da genial concepção do químico alemão Paul Ehrlich (1854-1915), que propôs a *Teoria das Cadeias Laterais*. Ehrlich imaginou que as células possuísem “cadeias laterais” responsáveis pela absorção de nutrientes e que os antígenos se encaixariam naquelas com estruturas complementares (o conceito de especificidade). Isso faria com que a célula passasse a produzir e liberar moléculas semelhantes à cadeia lateral “selecionada” pelo antígeno (os anticorpos). Apesar de algumas das concepções associadas a essa teoria terem sido posteriormente demonstradas como sendo incorretas (p. ex., que qualquer célula

(ed.), *Fundamental immunology*, Nova York, Raven Press, 3ª ed., 1996; 6) G. Virella (ed.), *Introduction to medical immunology*, Nova York, Marcel Dekker, 4ª ed., 1998; 7) M. M. Frank, K. F. Austen, H. N. Claman e E. R. Unanue (eds.), *Samter's immunologic diseases*, Boston, Little Brown, 5ª ed, 1995. Em *Immunology. The making of a modern science*, Londres, Academic Press, 1995, editado por R. B. Gallagher, J. Gilder, G. J. V. Nossal e G. Salvatore, encontram-se depoimentos sobre os temas mais importantes da moderna imunologia escritos por aqueles que os descreveram.

seria capaz de produzir anticorpos e que a ligação do anticorpo ao antígeno fosse irreversível), a fundamentação teórica da teoria seletiva idealizada por Ehrlich foi, em grande parte, comprovada a partir da década de 1940 pelo australiano MacFarlane Burnet.

A descoberta dos anticorpos e a comprovação de sua capacidade de neutralizar o antígeno causaram tal impacto no fim do século XIX que muitos achavam que os mecanismos de imunidade estavam esclarecidos. Foram as brilhantes e cuidadosas observações do zoólogo russo Ilya Metchnikoff (1845-1916) que mudaram esse cenário. Depois de passar por várias decepções, inclusive como professor da Universidade de Odessa, e de sobreviver a duas tentativas de suicídio (morfina e injeção de sangue com *Borrelia recurrentis*), Metchnikoff se estabelece (e restabelece) na estação de biologia marinha de Messina, na Itália, onde passou a estudar células do intestino de anêmonas, que apresentavam a estranha capacidade de ingerir partículas. Imaginou que essas células fagocitárias, que ele denominou de fagócitos, pudessem desempenhar um amplo papel na defesa tanto de organismos inferiores (como as anêmonas) como superiores (como os vertebrados). Um dia, em um momento de lazer, observou que espinhos de roseira espetados em larvas de estrela-do-mar, “transparentes como água”, causavam o acúmulo local de fagócitos, como se tentassem destruí-los. Essa teoria da fagocitose tomou corpo após a transferência de Metchnikoff para o Instituto Pasteur de Paris e veio acrescentar uma nova dimensão às teorias de defesa do organismo. Iniciou-se, então, uma verdadeira batalha científica entre

os alemães, adeptos da imunidade humoral, que defendiam os anticorpos como os responsáveis pela defesa do organismo, e os franceses (aí incluído o russo Metchnikoff), que defendiam a primazia da imunidade celular. A descoberta de George Nuttall (1888) de que anticorpos eram capazes de destruir bactérias, e a de Jules Bordet (1895), trabalhando no próprio laboratório de Metchnikoff, de que além dos anticorpos, um outro componente do soro, o complemento, também participava da destruição de microorganismos, lançaram mais polêmica sobre o assunto. Foi somente em 1903, com a descoberta do inglês Almoth Wright de que anticorpos aumentavam a fagocitose, que os ânimos das duas facções se acalmaram, prevalecendo o bom senso de que a imunidade poderia dever-se a anticorpos *ou* células e, muitas vezes, a anticorpos *e* células.

Foi assim que, no alvorecer do século XX, nascia a imunologia como ciência experimental, em grande parte calcada nos achados da então também nova bacteriologia. A dimensão unidimensional, prevalente até então e baseada tão-somente na observação do fenômeno imunológico e na especulação sobre suas causas, deu lugar a uma segunda dimensão: o entendimento da causa do fenômeno. Ou seja, o reconhecimento dos fatores causadores da ativação do sistema imunitário e dos efeitos de tal ativação concedeu a ele um caráter bidimensional.

Mas logo surgiria uma enorme surpresa: o sistema imunitário e seus produtos, recém-caracterizados como guardiães do organismo contra a invasão de microorganismos patogênicos, poderia causar doença! Essa observação foi feita pela primeira vez pelos franceses

Richet e Portier, em 1902, ao comprovarem que cachorros previamente injetados com extrato de *Physalia* (água-viva), quando reexpostos a esse extrato, apresentavam intensa reação, caracterizada por dificuldade respiratória, diarreia, vômitos sanguinolentos, e morriam após 25 minutos. Chamaram *anafilaxia* a esse fenômeno de intensa sensibilidade a uma substância relativamente inócua, em contraste com *profilaxia*, uma reação de proteção. Mostrou-se posteriormente que esse fenômeno resultaria da ação de anticorpos, capazes de causar anafilaxia nos animais que os recebiam. Sabemos hoje que esses anticorpos se ligam, com alta afinidade, a receptores de membrana de mastócitos e basófilos. A ligação de antígenos (p. ex., componentes da poeira domiciliar, fungos, alimentos) aos anticorpos leva à desgranulação dessas células e liberação de substâncias que causam vasodilatação, edema da mucosa e contratura da musculatura brônquica. Asma brôn-

quica, rinite alérgica e urticária são manifestações desse tipo de agressão mediada pelo sistema imunitário.

Nos anos seguintes à descrição da anafilaxia, foram descritas outras manifestações de agressão mediadas pelo sistema imunitário, envolvendo anticorpos ou linfócitos. Reconhece-se hoje que a disfunção do sistema imunitário pode causar ou agravar um grande número de doenças, tanto por excesso de função (alergias, doenças autoimunes) como por função deficiente (imunodeficiências como a Sida).

Os progressos da nova ciência da imunologia têm-se sucedido de maneira constante, a partir dos trabalhos pioneiros do fim do século XIX e início do século XX. Os principais estão representados na tabela 3.

São quatro as características das funções exercidas pelo sistema imunitário:

1. *Especificidade*: a capacidade de reconhecer diferentes moléculas de antígeno;

2. *Discriminação*: a capacidade de distinguir componentes do próprio organismo de componentes estranhos a ele;

3. *Memória*: a capacidade de reagir diferentemente à reexposição ao antígeno;

4. *Diversidade*: a capacidade de identificar uma enorme variedade de componentes antigênicos (p. ex., agentes infecciosos), mesmo que nunca tenham tido contato prévio com o sistema imunitário.

A *especificidade* do sistema imunitário é de tal ordem que suas principais células, os linfócitos, são capazes de distinguir (e reagir especificamente com) peptídeos cuja única diferença seja um aminoácido da cadeia lateral, ou polisacarídeos complexos constituídos por diferentes números dos mesmos monossacarídeos. São os receptores de membrana dos linfócitos que permitem esse reconhecimento específico. As duas principais populações de linfócitos possuem

Os progressos da nova ciência da imunologia têm-se sucedido de maneira constante, a partir dos trabalhos pioneiros do fim do século XIX e início do século XX



receptores dotados de diferentes características.

Nos linfócitos B, formados na medula óssea (*bone marrow* em inglês), o receptor para o antígeno é uma molécula de imunoglobulina formada por quatro cadeias peptídicas, iguais duas a duas, enquanto nos linfócitos T, formados no timo, o receptor é formado por duas cadeias peptídicas diferentes entre si. Os receptores dos dois tipos de linfócitos têm em comum o fato de se inserirem na membrana celular, apresentando uma porção intracelular, e exibirem uma grande diversidade de seqüências de aminoácidos em sua porção mais distal, o que lhes concede a especificidade. Cada linfócito possui receptores de uma única especificidade que, de acordo com sua origem, distinguem de maneira diferente o antígeno: os receptores dos linfócitos T identificam a seqüência linear de aminoácidos de um peptídeo, enquanto os linfócitos B identificam sua conformação (estrutura secundária). Outra diferença: os linfócitos T só são capazes de identificar antígenos após estes terem sido processados por “células apresentadoras de antígeno” (p. ex., macrófagos e linfócitos B) e apresentados acoplados a proteínas próprias, codificadas por genes do complexo principal de histocompatibilidade (CPH), enquanto os linfócitos B os identificam mesmo quando livres e sem necessidade de um prévio processamento.

O encontro do antígeno com o receptor desencadeia um complexo processo de sinalização, envolvendo a fosforilação de proteínas, com a participação de íons cálcio e diversas enzimas (cinases), indo até o núcleo do linfócito, onde vários genes são ativados. Se a esse

TABELA 3  
OS GRANDES MARCOS DA HISTÓRIA DA IMUNOLOGIA

1798 – Edward Jenner	Vacina antivariólica (vaccinia)
1880 – Louis Pasteur	Vacinas atenuadas
1883 – Ilya Metchnikoff *	Fagocitose
1888 – Émile Roux, A. Yersin	Isolamento do primeiro antígeno: toxina diftérica
1888 – George Nuttall	Primeira demonstração de um anticorpo
1889 – R. Pfeiffer, Z. Marx	Produção de anticorpos: baço, linfonodos e medula
1890 – Emil von Behring, S. Kitasato	Ação da antitoxina diftérica, soroterapia
1890 – Robert Koch	Hipersensibilidade tuberculínica
1893 – W. Haffkine	Primeira vacinação de massa (Índia)
1894 – R. Pfeiffer, V. Isaeff	Lise imunológica de bactéria
1894 – Jules Bordet	Ação do complemento na bacteriólise
1898 – Paul Ehrlich	Teoria das Cadeias Laterais
1900 – Karl Landsteiner	Caracterização dos grupos sanguíneos A, B, O
1902 – Charles Richet, Paul Portier	Anafilaxia como fenômeno imunológico
1903 – Almoth Wright, Stewart Douglas	Anticorpos facilitando fagocitose (opsonização)
1903 – Nicolas Arthus	Necrose local por complexos antígeno-anticorpos
1905 – Clemens von Pirquet, B. Schick	Doença do soro
1906 – Clemens von Pirquet	Utilização do termo "alergia"
1910 – Peyton Rous	Imunologia do câncer induzido por vírus
1921 – Albert Calmette e Camille Guérin	Vacina BCG (tuberculose) utilizada em crianças
1923 – Gaston Ramon	Destoxificação da toxina diftérica para vacinação
1930 – F. Breinl, F. Haurowitz	Teoria Instrutiva de Síntese de Anticorpos
1935 – M. Heidelberger e F. E. Kendall	Purificação de anticorpos
1938 – A. W. Tiselius e E. A. Kabat	Caracterização dos anticorpos como globulina-γ
1940 – Linus Pauling	Reelaboração da Teoria Instrutiva de Anticorpos
1942 – Karl Landsteiner e M. W. Chase	Hipersensibilidade cutânea transferida por linfócitos

\* Em negrito, laureados com o Prêmio Nobel

**TABELA 3 (CONTINUAÇÃO)**  
**OS GRANDES MARCOS DA HISTÓRIA DA IMUNOLOGIA**

1942 – L. D. Felton	Tolerância do sistema imunitário a antígenos
1944 – Peter Medawar e F. M. Burnet	Teoria da tolerância imunológica adquirida
1945 – R. D. Owen	Bezerros dizigóticos são tolerantes um ao outro
1948 – Astrid E. Fagraeus	Anticorpos são formados por plasmócitos
1948 – S. Harris, W. Henle	Utilização do termo “linfócito”
1952 – O. C. Bruton	Primeira descrição de imunodeficiência congênita
1953 – P. Grabar e C. A. Williams	Heterogeneidade das imunoglobulinas
1953 – R. Billingham, L. Brent, P. Medawar	Indução de quimeras de medula óssea
1955 – Niels Jerne	Teoria da seleção natural
1955 – W. Taliaferro, D. Talmage	Transferência da memória imunológica por linfócitos
1955 – J. Roberts, F. Dixon	Transferência da memória imunológica por linfócitos
1957 – Frank Macfarlane Burnet	Teoria da seleção clonal
1958 – Jean Dausset e F. Rapaport	Antígenos de histocompatibilidade dos leucócitos
1959 – Rodney Porter e Gerald Edelman	Estrutura dos anticorpos
1966 – H. N. Claman	Cooperação entre linfócitos T e B
1968 – H. O. McDavitt e M. L. Tyan	Importância dos genes de histocompatibilidade
1974 – Niels Jerne	Teoria das redes idiotípicas
1974 – Peter Doherty e Rolf Zinkernagel	Restrição genética dos linfócitos T
1975 – Cesar Milstein e Georges Köhler	Anticorpos monoclonais
1978 – Susumu Tonegawa	Rearranjo dos genes de imunoglobulinas
1983 – K. Haskins	Isolamento do receptor de linfócitos T
1984 – M. Davis	Genes do receptor de linfócitos T

\* Em negrito, laureados com o Prêmio Nobel

primeiro sinal não se suceder um segundo sinal, o linfócito entra em estado de anergia, ou seja, torna-se temporariamente incapaz de reagir ao antígeno. O segundo sinal, necessário para a ativação do linfócito, decorre da ligação de outras moléculas de superfície a receptores das células apresentadoras de antígeno, ou da liberação de citocinas por essas células. Os linfócitos passam então a proliferar e diferenciam-se em células efetoras; no caso dos linfócitos B, transformam-se em plasmócitos que sintetizam e liberam os anticorpos, dotados da mesma especificidade do receptor do linfócito B que lhes deu origem. Os linfócitos T dão origem a células efetoras que produzem várias citocinas, proteínas que funcionam como agentes de comunicação entre células e, dessa maneira, influenciam a função das demais células do sistema imunitário e de outros sistemas.

Qual a razão da estrita especificidade do sistema imunitário? Primeiramente, por uma necessidade de eficiência. Uma reação específica, ou seja, direcionada para determinado antígeno de um micro-organismo (p. ex., anticorpos contra componente da cápsula polissacarídica de pneumococo, que aumentam sua fagocitose), é mais eficiente que uma resposta inespecífica (p. ex., fagocitose). Outra importante consequência da especificidade: cada vez que o sistema imunitário entra em contato com antígenos (p. ex., durante uma

infecção), somente aqueles linfócitos com receptores específicos irão ser ativados, o que evita uma ativação excessiva do sistema imunitário, certamente deletéria para o equilíbrio do organismo.

Outra característica importante do sistema imunitário é a capacidade de *discriminação* entre os componentes do meio interno, que devem ser preservados, e os componentes do meio externo, potencialmente capazes de colocar em risco o equilíbrio dos primeiros, sendo, em consequência, alvo dos mecanismos homeostáticos. Não que os linfócitos não sejam capazes de reconhecer os componentes do próprio organismo. Como será tratado na próxima seção, sabemos hoje que o fazem, embora de maneira fraca e controlada. Os linfócitos adquirem a capacidade de discriminar entre o próprio e o não-próprio durante seu processo de diferenciação, que acontece na medula óssea, no caso dos linfócitos B, ou no timo, no caso dos linfócitos T. Nessa etapa, os linfócitos capazes de reconhecer com alta afinidade componentes próprios são destruídos ou anergizados, ou seja, ficam com sua reatividade bloqueada, enquanto aqueles incapazes de fazê-lo, ou de o fazer com baixa afinidade, são preservados e expandidos. A falha desse processo seletivo irá determinar as doenças auto-imunes, em que o sistema imunitário reage a componentes próprios.

O encontro de um antígeno com os linfócitos que possuem receptores específicos gera o processo de ativação, caracterizado por proliferação, com a consequente expansão clonal, e diferenciação celular, com a formação de células efetoras. Entretanto, parte da população de linfócitos prolifera mas

não se diferencia em células efetoras, dando origem às células de memória. Estas são linfócitos de grande vida média (podem durar anos) e sua atuação explica por que a reexposição a um antígeno, mesmo anos após o contato anterior, pode gerar uma resposta do sistema imunitário qualitativa e quantitativamente diferente daquela decorrente do contato primário com o antígeno. Essa resposta secundária costuma se iniciar mais precocemente, ser mais intensa e gerar anticorpos de maior afinidade, predominantemente da classe IgG, no caso de linfócitos B, ou intensa proliferação de linfócitos e produção de citocinas por linfócitos T. A *memória* é uma peculiaridade do sistema imunitário, entre todos os sistemas de defesa.

Durante décadas procurou-se uma explicação plausível para a incrível *diversidade* do sistema imunitário, ou seja, a *capacidade de seus linfócitos possuírem receptores específicos para uma enorme quantidade de antígenos, mesmo para aqueles que*

*nunca tenham entrado em contato com o nosso organismo.* Estima-se que nossos  $10^{12}$  linfócitos expressem receptores de pelo menos  $10^9$  diferentes especificidades. Em outras palavras, nosso sistema imunitário tem capacidade de detectar um mínimo de 1 bilhão de diferentes antígenos, bem mais do que temos a oportunidade de encontrar durante toda a vida. Mas como isso é possível, ainda mais se considerarmos que essa capacitação *precede* o encontro com o antígeno? O mistério da geração da diversidade do sistema imunitário foi esclarecido a partir do fim da década de 1970 (para os linfócitos B) e início da década de 1980 (para os linfócitos T), quando se descobriu que diferentes sequências da porção variável dos receptores para antígeno eram codificadas por um grande número de genes da linhagem germinativa. A enorme variedade de especificidades dos receptores decorre de rearranjos gênicos, no caso dos linfócitos B também de mutações, que ocor-

---

**Nosso sistema imunitário tem capacidade de detectar um mínimo de 1 bilhão de diferentes antígenos, bem mais do que temos a oportunidade de encontrar durante toda a vida**

rem no momento da formação das moléculas do receptor.

Segundo a Teoria da Seleção Clonal, de Burnet, o antígeno seletcionaria, entre o repertório de linfócitos, aqueles com receptores específicos e induziria-os a proliferar e diferenciar em células efectoras, capazes de destruir ou neutralizar o efeito do antígeno, que coloca em risco o equilíbrio do organismo. Essa visão considera que o sistema imunitário estaria “voltado para fora”, sendo ativado somente quando antígenos do meio externo (p. ex., agentes infecciosos) entrassem em contato com os linfócitos. Assim, um animal criado em condições de total isolamento de antígenos do meio externo deveria apresentar um sistema imunitário atrófico e ausência de ativação de linfócitos. Não é isso que acontece: cerca de 30% dos linfócitos de camundongos criados nessas condições apresentam-se ativados. Embora ainda aceita até hoje em suas linhas gerais, a Teoria da Seleção Clonal dá uma

visão muito limitada da ação do sistema imunitário, restrita a reações de causa e efeito. Muitos fenômenos não são por ela explicados, como a regulação da resposta imunitária. A regulação de um sistema tão crítico para a sobrevivência não poderia depender exclusivamente do antígeno. Um novo componente foi então adicionado ao sistema imunitário, transformando sua concepção bidimensional em tridimensional: a idéia de que ele estaria organizado em redes de conexão que concorreriam para a regulação de sua resposta.

### TERCEIRA DIMENSÃO: AS INTRACONEXÕES<sup>3</sup>

Um dos maiores filósofos da ciência, Thomas Kuhn, propõe em seu livro *A estrutura das revoluções científicas*<sup>4</sup> que a ciência progride por meio da mudança de *paradigmas*. Um paradigma é algo comumente aceito, mas não necessariamente provado, pelo mundo científico. Mudanças de paradigma não acontecem com frequência, mas quando

<sup>3</sup> A Teoria das Redes Idiotípicas foi descrita por N. K. Jerne, Towards a network theory of the immune system, *Ann. Immunol. (Inst. Pasteur)* 125C: 373-389, 1974. Desde então, tem surgido um grande número de trabalhos científicos sobre o assunto, tratando de sua fundamentação teórica (p. e., J. Herniaux, Antiidiotypic network, *Fed. Proc.*, 40: 1484-1488, 1981; J. M. Davie et al., Structural correlates of idiotopes, *Ann. Rev. Immunol.* 4: 147-165, 1986; V. Calenbuhr et al., Natural tolerance in a simple network, *J. Theor. Biol.*, 177: 199-213, 1995; K. Takumi e R. J. De Boer, Self assertion modeled as a network repertoire of multi-determinant antibodies, *J. Theor. Biol.*,

183: 55-66, 1996; C. A. Bona, Internal image concept revisited, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 213: 32-41, 1996), seu papel na patogenia de doenças autoimunes (p. e., Y. Schoenfeld, Idiotype induction of autoimmunity: a new aspect of the idiotype network, *Faseb J.*, 8: 1296-1301, 1994; Q. Yi et al., Anti-idiotypic T. cells in early stages of myasthenia gravis: increase in the number and prevalence correlated to clinical improvements in patients, *Scand. J. Immunol.*, 44: 630-637, 1996) e na utilização de anticorpos antiidiotípicos como material de vacinação (p. e., M. J. Rico e R. P. Hall, Anti-idiotypic antibodies as vaccine candidates. The immune network,

*Arch. Dermatol.*, 125: 271-275, 1989; D. Herlyn et al., Anti-idiotypic immunization of cancer patients: modulation of the immune response, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 84: 8055-8065, 1987; T. F. Kresina e G. R. Olds, Antiidiotypic antibody vaccine in murine *Schistosomiasis mansoni*, *J. Clin. Invest.*, 83: 912-920, 1989; M. Zouali et al., Idiotype manipulation for autoimmune diseases: where are we going?, *Autoimmunity*, 24: 55-63, 1996; P. M. Deckert et al., CD4-imitating human antibodies in H. I. V. infection and anti-idiotypic vaccination, *J. Immunol.*, 156: 826-833, 1996).

<sup>4</sup> T. S. Kuhn., *The structure of scientific revolutions*, 2ª ed., Chicago, University of Chicago Press 1970.

ocorrem causam grandes avanços na ciência, porque desencadeiam um grande número de trabalhos tentando comprovar ou refutar o novo paradigma, além de representarem uma nova maneira de ver e interpretar os fenômenos. Devemos ao dinamarquês Niels Jerne uma importante mudança de paradigma na moderna imunologia. Até então, o paradigma prevalente era de que o sistema imunitário não reagia contra componentes do próprio organismo e, se o fizesse, geraria doença. A proposição de Jerne foi de que anticorpos (Ac1 ou idiotipos) formados contra determinado antígeno induziriam anticorpos secundários contra seqüências de sua molécula (Ac2 ou anticorpos antiidiotípicos) que, por sua vez, induziriam anticorpos terciários (Ac3 ou anticorpos anti-antiidiotípicos). Isso porque os Ac1 ativariam uma rede de linfócitos B cujos receptores reconheceriam os Ac1. Essas células diferenciavam-se em plasmócitos e

secretariam anticorpos anti-Ac1 (Ac2). Os Ac2, por sua vez, aumentariam a rede por meio do estímulo a linfócitos, que os reconhecem, e que passam a produzir Ac3. Esses anticorpos apresentam a porção variável, que lhe concede a especificidade, muito semelhante à do Ac1, o que limita a ampliação da rede. Essa teoria foi posteriormente comprovada em modelos experimentais e em humanos e estendida também para os linfócitos T. Reconhece-se atualmente que uma parte substancial dos linfócitos está conectada a redes idiotípicas e antiidiotípicas, e através delas suas respostas a estímulos antigênicos são controladas, evitando-se extremos que podem colocar em risco a homeostase. Essas conexões internas, intracoxões, são multidirecionais e dão à organização do sistema imunitário um caráter tridimensional.

O novo paradigma da organização do sistema imunitário em redes idiotípicas causou enorme impacto na imunologia. Primeiro porque constitui um mecanismo de controle interno de suas funções. Além disso, mudou nossa concepção sobre a própria razão de ser do sistema imunitário. Antes considerado como um sistema “voltado para fora”, que seria ativado quando antígenos do meio externo penetrassem no organismo e fossem identificados por linfócitos, o sistema imunitário passou a ser interpretado como um sistema “voltado para dentro”, já que é mantido ativado a partir do conhecimento de componentes do próprio organismo, ou seja, de autoconhecimento. As características da reação a componentes externos, como os agentes infecciosos, dependerão em grande parte do padrão de organização interna do

sistema imunitário. Podemos dizer que o sistema imunitário “vê” o mundo externo por meio dos olhos do autoconhecimento.

Os anticorpos antiidiotípicos funcionam como uma imagem interna do antígeno, já que são complementares à porção variável do anticorpo idiotípico, que reage com o antígeno. Seriam antígenos produzidos pelo próprio organismo. Isso faz com que eles possam ser utilizados como material vacinal. Vários estudos em animais de experimentação têm mostrado que é possível utilizar-se “vacinas” constituídas por anticorpos antiidiotípicos contra infecções por vírus, bactérias e protozoários e também contra tumores.

Considera-se atualmente que distúrbios nas redes idiotípicas possam gerar ou agravar doenças auto-imunes, situações em que o próprio sistema imunitário agride o organismo. Assim, a modulação da rede passou a constituir uma nova estratégia terapêutica para as doenças auto-imunes como *miastenia gravis* e polirradiculoneurites, entre outras.

Apesar de muito contribuir para o entendimento de sua fisiologia e patologia, o reconhecimento da organização do sistema imunitário



Carlos Magno

em redes idiotípicas – e suas intrincadas (e ainda pouco conhecidas) intraconexões – não contemplam suas relações com os demais sistemas homeostáticos do organismo. É, portanto, necessário ultrapassar a concepção tridimensional, representada pelas intraconexões, e adotar uma nova dimensão relacionada às interconexões.

#### QUARTA DIMENSÃO: AS INTERCONEXÕES <sup>5</sup>

Para que possa cumprir com eficiência sua principal função, a de manutenção da homeostasia, o sistema imunitário necessita de continuada comunicação com os demais sistemas do organismo, especialmente com aqueles que também desempenham função no equilíbrio do meio interno, como o sistema neuroendócrino. O sistema neuroendócrino é formado pelo sistema nervoso central e periférico e pelas glândulas endócrinas. Suas funções na homeostasia são tão importantes quanto interconectadas.

Consideremos, por exemplo, o eixo hipotálamo-hipófise-suprarrenal. O hipotálamo produz o hormônio liberador da corticotrofina, que age sobre a hipófise, induzindo-a a produzir a corticotrofina; esta, por sua vez, estimula a suprarrenal a produzir a cortisona. Cada um desses hormônios exerce um papel modulador negativo sobre seu indutor e uma função essencial sobre o equilíbrio do organismo. Sabe-se que esses hormônios exercem também um papel depressor sobre o sistema imunitário: seu aumento é considerado como um dos fatores responsáveis pela maior suscetibilidade a infecções apresentada por indivíduos submetidos a tensão emocional.

As interconexões sistema imunitário-sistema neuroendócrino começaram a ser entendidas a partir da demonstração da presença, nos linfócitos, de receptores para hormônios, neurotransmissores e neuropeptídeos. Através desses receptores, o sistema neuroendócrino

influencia o sistema imunitário, tanto estimulando suas funções (p. ex., insulina, hormônio do crescimento, prolactina, endorfinas)

<sup>5</sup> Duas publicações recentes revêem as interações imunoneuroendócrinas: S. M. McCann et al., (ed.), *Neuroimmunomodulation. Molecular aspects, integrative systems, and clinical advances*, Ann. New York Acad. Sci., vol. 840, 1998; Csermely P. (ed.), *Stress of life. From molecules to man*, Ann. New York Acad. Sci., vol. 851, 1998. Outros trabalhos que exploram bem o assunto: 1) J. E. Blalock, The syntax of immune-neuroendocrine communication, *Immunol. Today*, 15: 504-510, 1994; 2) K. S. Madden e D. L. Felten, Experimental basis for neural-immune interactions, *Physiol. Rev.*, 75: 77-106, 1995; 3) R. Ader et al., Psychoneuroimmunology: interactions between the nervous system and the immune system, *Lancet*, 345:99-103, 1995; 4) J. F. Sheridan et al., Psychoneuroimmunology: stress effects on the pathogenesis and immunity during infection, *Clin. Microb. Rev.*, 7: 200-212, 1994; 5) R. Glaser et al., The influence of psychological stress on the immune response to vaccines, Ann. New York Acad. Sci., 840: 649-655, 1998; 6) C. Dickerson et al., Neuropeptide regulation of proinflammatory cytokine responses, *J. Leukoc. Biol.*, 63: 602-605, 1998. Apesar de sua evidente importância, o tema é raramente tratado pelos livros-texto de imunologia; algumas exceções: 1) A. I. Terr., "Psychoneuroimmunology", em D. P. Stites e A. I. Terr (eds.), *Basic clinical immunology*, Appleton e Lange, p. 187-190, 1991; 2) N. Cohen et al., "Psychoneuroimmunology", em L. H. Sigal e Y. Ron (eds.), *Immunology and Inflammation. Basic mechanisms and clinical consequences*, Nova York, McGraw-Hill, p. 465-494, 1994.

quanto deprimindo-as (p. ex., corticosteróides, corticotrofina, hormônios sexuais, adrenalina). Por outro lado, o sistema imunitário também influencia o sistema neuroendócrino, não só por meio de seus mediadores próprios (citocinas e hormônios típicos), como também produzindo mediadores que até recentemente eram considerados exclusivos do sistema neuroendócrino: hormônios (p. ex., corticotrofina) e neuropeptídeos (p. ex., endorfina beta). Demonstrou-se que os neurônios cerebrais, particularmente os do hipotálamo, sofrem influência de citocinas e de mediadores da resposta inflamatória (serotonina e histamina). Essas observações indicam que o sistema imunitário pode funcionar como um sistema sensorial periférico, capaz de informar o sistema neuroendócrino da presença de situações capazes de alterar a homeostasia. Este, por sua vez, concorrerá para manter a resposta imunitária em níveis adequados.

Algumas observações experimentais evidenciam o grau de interconexão dos dois sistemas: a introdução de antígeno no baço provoca aumento quase que imediato da atividade elétrica do córtex cerebral. Por outro lado, a lesão do córtex fronto-parietal esquerdo causa diminuição do número de células esplênicas, de proliferação de linfócitos T, de produção de citocinas, de atividade citotóxica natural e da função de linfócitos T auxiliares, enquanto a lesão do córtex direito leva ao efeito oposto, ou seja, estimulação do sistema imunitário.

As interconexões imunoneuroendócrinas são tão íntimas e complexas que é impossível interferir em um sistema sem in-

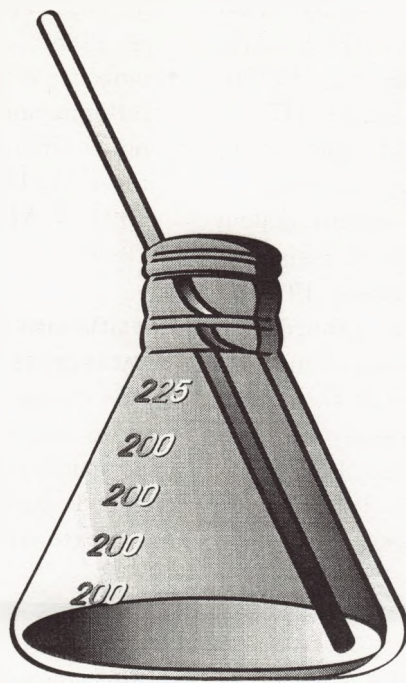
fluenciar os demais. O sistema imunitário, o sistema nervoso e o sistema endócrino comportam-se, funcionalmente, como um sistema único, o sistema imunoneuroendócrino. Influenciando e controlando as funções do sistema imunoneuroendócrino existe a mente, com a qual o sistema possui transconexões. Esta constitui mais uma dimensão do sistema imunitário.

#### QUINTA DIMENSÃO: AS TRANSCONEXÕES <sup>6</sup>

Quem visita hoje as ruínas do Asklepion, em Pérgamo, leste da Turquia, fica impressionado com a magnificência daquele que foi o

<sup>6</sup> As transconexões da mente com o sistema imunoneuroendócrino só serão adequadamente compreendidas quando entendermos melhor o que é mente/consciência e como ela funciona. Algumas publicações apresentam-nos a visão neurofisiológica do tema: 1) F. Crick, *The astonishing hypothesis. The scientific search for the soul*, Nova York, Charles Scribner's Sons, 1994; 2) S. Pinker, *Como a mente funciona*, São Paulo, Companhia das Letras, 1998; 3) S. M. McCann et al., *Neuroimmunomodulation. Molecular aspects, integrative systems, and clinical advances*, *Ann. New York Acad. Sci.*, vol. 840, 1998; 4) O. Sacks, *A new vision of the mind*, *Int. Rev. Neurobiol.*, 37: 347-368, 1994; 5) R. Adolphs e A. R. Damasio, "Consciousness and neuroscience" em B. Bromm e J. E. Desmedt (eds.), *Pain and the brain: from nociception to cognition*, Nova York, Raven Press, p. 83-97, 1995. A física quântica tem sido utilizada para um melhor entendimento da natureza da consciência, como em: 1) N. Herbert, *Elemental*

*mind*, Nova York, Plume Book, 1994; 2) Zohar D., *O ser quântico. Uma visão revolucionária da natureza humana e da consciência, baseada na nova física*, São Paulo, Best Seller, 1992; 3) D. Chopra, *A cura quântica. O poder da mente e da consciência na busca da saúde integral*, São Paulo, Best Seller, 1989. A natureza não-localizada da mente/consciência e suas conotações espirituais foi bem tratada por L. Dossey, *Reencontro com a alma. Uma investigação científica e espiritual*, São Paulo, Cultrix, 1992. De todos os grandes filósofos, talvez tenha sido Spinoza (B. Spinoza, *On the improvement of the understanding. The ethics. Correspondence*, traduzido do latim por R. H. M. Elwes, Nova York, Dover Publications, 1955) quem tratou de maneira mais clara e objetiva o problema da natureza da mente/consciência. Alguns temas relacionados às transconexões da mente com o sistema imunoneuroendócrino: ação benéfica do relaxamento (H. Benson, *The relaxation response*, Nova York, William Morrow, 1975);



Carlos Magno

maior centro médico do mundo antigo e também com os métodos de cura empregados. Aí pontificou Galeno, nascido na cidade em 129 AD, e seus métodos de terapia psicossomática. Já entendia o famoso médico que as doenças orgânicas eram intensamente influenciadas, tanto positiva como negativamente, pelos processos mentais, e esse conhecimento era utilizado para a profilaxia e a terapêutica. Foram seus antepassados gregos que criaram a máxima, posteriormente adotada pelos romanos, *mens sana in corpore sanum*, ou seja, o corpo são concorre para uma mente sadia, da mesma maneira que a mente sadia concorre para um corpo são. Pertence, há muito, à sabedoria popular o conhecimento de que desequilíbrios emocionais, como tristeza, ressentimentos e ódio, entre outros, podem afetar o estado de saúde e facilitar o aparecimento ou o agravamento de doenças, muitas delas, como infecções e tumores, que dependem de um estrito controle do sistema imunitário.

Pode-se inferir que os processos mentais exerçam influência sobre o principal sistema homeostático do organismo, o sistema imunoneuroendócrino. De fato, reconhece-se que determinados estados emocionais influenciam a produção de neuropeptídeos (p. ex., endorfinas e encefalinas) e de neurotransmissores (p. ex., serotonina e acetilcolina) e que isso pode interferir nas funções do sistema imunoneuroendócrino. Também se reconhece que essas influências são mútuas, já que produtos desse sistema, como citocinas, hormônios e neuropeptídeos, podem causar alterações comportamentais, ou seja, influenciam os processos mentais. Entretanto, algumas

ação da hipnose (S. Black et al., Inhibition of Mantoux reaction by direct suggestion under hypnosis, *Brit. Med. J.*, 22: 1649, jun. 1963); modulação psicológica da resposta do sistema imunitário (G. R. Smith et al., Psychologic modulation of the human immune response to varicella zoster, *Arch. Intern. Med.*, 145: 2110, 1985); estado de humor/emoção influenciando o sistema imunitário (A. D. Futterman et al., Immunological and physiological changes associated with induced positive and negative mood, *Psychosomat. Med.*, 56:499, 1994; T. Mittwoch-Jaffe et al., Modification of cytokine secretion following mild emotional stimuli, *NeuroReport*, 6: 789, 1995); condicionamento da resposta do sistema imunitário (H. B. Solvason et al., A behavioral augmentation of natural immunity: odor specificity supports a Pavlovian conditioning model, *Intern. J. Neuroscience*, 61: 277, 1991; R. N. Hiramoto et al., Conditioning of the allogenic cytotoxic lymphocyte res-

ponse, *Pharmacol. Biochem. Behavior*, 44: 275, 1993; R. Ader e N. Cohen, Psychoneuroimmunology: conditioning and stress, *Ann. Rev. Psychol.*, 44: 53, 1993); alterações do sistema imunitário na depressão (C. S. Weisse, Depression and immunocompetence: a review of the literature, *Psychol. Bull.*, 111:475, 1992; M. Maes et al., Absolute number and percentage of circulating natural killer, non-MHC-restricted T cytotoxic, and phagocytic cells in unipolar depression, *Neuropsychobiology*, 29: 157, 1994; A. Seidel et al., Cytokine production and serum proteins in depression, *Scand. J. Immunol.*, 41: 534, 1995) e na esquizofrenia (H. Katila et al., Plasma levels of interleukin-1b and interleukin-6 in schizophrenia, other psychoses, and affective disorders, *Schizophrenia Res.*, 12: 29, 1994; M. Maes et al., Plasma-soluble interleukin-2 and transferrin receptor in schizophrenia and major depression, *Eur. Arch. Psychiatry Clin. Neurosci.*, 244: 325, 1995).

questões críticas permanecem sem resposta, impedindo uma compreensão mais clara sobre a influência exercida pela mente sobre o sistema imunoneuroendócrino: como as emoções e demais expressões de processos mentais são transduzidas em sinais químicos, as moléculas? Qual a relação entre a natureza do processo mental e as moléculas formadas?

Nossa ignorância sobre a natureza das transconexões mente-sistema imunoneuroendócrino decorre, em grande parte, de nosso desconhecimento sobre uma das questões mais cruciais do gênero humano: o que é a mente? o que é a consciência? As respostas serão diferentes caso se origine de um neurofisiologista, de um psicólogo ou de um filósofo. Os neurofisiologistas e os neurologistas tendem a associar a mente ao sistema nervoso central e o processo mental a uma função de neurônios e neurotransmissores. Alguns procuram explicar a natureza da consciência a partir de modelos quânticos. Mas os psicólogos e os filósofos reagem: como considerar que sentimentos complexos como o livre-arbítrio, a compaixão, o senso ético e o estético possam ser causados por células, moléculas ou saltos quânticos? Como associar a mente ao cérebro, quando drogas ou estados patológicos podem causar profundas modificações do estado de consciência sem, entretanto, alterar as funções típicas do cérebro?

Algumas observações têm reforçado a importância das transconexões mente-sistema imunoneuroendócrino:

- possibilidade de inibir reações cutâneas a antígenos por meio de hipnose (S. Black *et al.*, 1963);
- alterações mentais como a esquizofrenia podem estar associa-

das a várias anormalidades do sistema imunitário (H. Katila *et al.*, 1994; M. Maes *et al.*, 1995);

- estados depressivos (C. S. Weisse, 1992; M. Maes *et al.*, 1994; A. Seidel *et al.*, 1995);
- técnicas de relaxamento podem afetar positivamente o sistema imunitário (H. Benson, 1975);
- é possível alterar as funções do sistema imunitário por meio de condicionamento do tipo pavloviano (H. B. Solvason *et al.*, 1991; R. Ader e N. Cohen, 1993; R. N. Hiramoto *et al.*, 1993) ou de modulação psicológica por meio

de meditação (G. R. Smith *et al.*, 1985);

- emoções negativas ou positivas influenciam negativamente ou positivamente o sistema imunitário (A. D. Futterman *et al.*, 1994; T. Mittwoch-Jaffe *et al.*, 1995).

## ENÉSIMA DIMENSÃO: AS METACONEXÕES<sup>7</sup>

Vimos que as diferentes dimensões do sistema imunitário estão relacionadas com os graus de complexidade de suas conexões internas e externas. Existem dimen-

<sup>7</sup> O teorema de Bell é explicado em obras como: 1) N. Herbert, *Quantum reality. Beyond the new physics*, Nova York, Ancr. Books, 1987; 2) P. C. W. Davies e J. R. Brown (eds.), *The ghost in the atom*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997; 3) G. Zukav, *The dancing Wu Li masters. An overview of the new physics*, Nova York, Bantam Books, 1980. Observações sugestivas da existência de metaconexões e do papel curativo de metenergia (prece, entre outras formas) podem ser obtidas em: 1) D. J. Benor, *Survey of spiritual healing research*, *Complementary Medical Research*, 4: 9-33, 1990; 2) H. Benson e W. Proctor, *Beyond the relaxation response*, Nova York, Berkley Books, 1985; 3) E. P. Berg, *Faith healing*, *Australian Family Physician*, 9: 303-307, 1980; 4) R. C. Byrd, *Positive therapeutic effects of intercessory prayer in a coronary care unit population*, *Southern Medical Journal*, 81: 826-829, 1988; 5) P. J. Collipp, *The efficacy of prayer: a triple-blind study*, *Medical Times*, 97: 201-204, 1969; 6) B. M. Cox, *Testing the power of prayer*, *Science*, 276: 1631, 1997; 7) T. J. Crowley,

*Testing the power of prayer*, *Science*, 276: 1632, 1997; 8) L. Dossey, *As palavras curam. O poder da prece e a prática da medicina*, São Paulo, Cultrix, 1993; 9) E. Gettig, *Faith healing: a case presentation*, *Birth Defects Original Article Series*, 23: 267-270, 1987; 10) J. S. Heilig, *Testing the power of belief*, *Science*, 276: 881, 1997; 11) C. E. Hughes, *Prayer and healing. A case study*, *Journal of Holistic Nursing*, 15: 318-324, 1997; 12) C. R. B. Joyce, R. M. C. Welldon, *The objective efficacy of prayer. A double-blind clinical trial*, *Journal of Chronic Diseases*, 18: 367-377, 1965; 13) J. Kling, *Testing the power of prayer*, *Science*, 276: 1632, 1997; 14) J. W. Larrick, *Testing the power of belief*, *Science*, 276: 881-882, 1997; 15) J. S. Levin, *How prayer heals: a theoretical model*, *Alternative Therapies*, 2: 66-73, 1996; 16) D. Mayer, *Testing the power of belief*, *Science*, 276: 881, 1997; 17) C. G. Roland, *Does prayer preserve?*, *Archives of Internal Medicine*, 125: 580-587, 1970; 18) M. Schlitz, W. Braud, *Distant intentionality and healing: assessing the evidence*, *Alternative Therapies in*

sões ainda não estabelecidas e nem sequer vislumbradas. Talvez a última das dimensões – a enésima –, comum a todos os sistemas e os seres, seja a dimensão cósmica, a que compreende as metaconexões, que unem todo o cosmo. A interconectividade do cosmo foi provada matematicamente em 1965 pelo físico irlandês John Stewart Bell, a partir de observações feitas em um sistema quântico de duas partículas. O Teorema de Bell tem sido considerado a maior descoberta científica de todos os tempos e propõe que nada ocorre

no universo sem que repercuta sobre os demais corpos do universo. Ou seja, *tudo está interconectado*. Não se conhece a natureza dessas metaconexões. Provavelmente incluem conexões quânticas, mas a existência de conexões de outras naturezas não pode ser descartada. Algo como o que Gandhi definiu como “um poder misterioso e indefinível que tudo permeia e eu o sinto, ainda que não o veja”. Para alguns, seria inescapável deixar-se de associar a Deus a origem das conexões cósmicas.

Qualquer que seja a natureza das metaconexões, o fato é que o sistema imunoneuroendócrino está sujeito a influências tão poderosas como desconhecidas, capazes de alterar sua função. Como explicar certas curas “espontâneas” de casos tidos como irrecuperáveis? Ou as chamadas “curas paranormais”? Ou curas a distância, que incluem práticas como a utilização de prece ou de emissão de “energia curativa”?

Embora muitos autores considerem que o agente da cura deva ser algum tipo de energia, esta não obedece às leis da física clássica, por exemplo, não se dissipa na razão inversa do quadrado da distância. Isso ficou comprovado no clássico estudo de Byrd (1988), em que 393 pacientes da unidade de terapia coronariana do Hospital Geral de San Francisco (Califórnia, EUA) foram aleatoriamente alocados em dois grupos: um recebia somente os cuidados médicos habituais, e o outro, além desses, recebia também preces, feitas a distância (muitas vezes a mais de 3 mil km) por três a sete pessoas de diferentes denominações cristãs. Além de prospectivo e aleatorizado, o estudo foi duplo-cego: nem o paciente nem o médico assistente sabiam quem estava

Health and Medicine, 3: 62-73, 1997; 19) R. L. Sevensky, Religion and illness: an outline of their relationship, *Southern Medical Journal*, 74: 745-750, 1981; 20) Targ E., Evaluating distant healing: a research review, *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 3: 74-78, 1997; 21) Wirth D. P., Cram J. R., The psychophysiology of non-traditional prayer, *International Journal of Psychosomatics*, 41: 68-75, 1994; 22) Wirth D. P., Barrett M. J., Complementary healing therapies, 41: 61-67, 1994; 23) Wirth D. P., Richardson J. T., Eidelman W. S., Wound healing and complementary therapies: a review, *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2: 493-502, 1996.

Outras referências: 1) I. Bentov, *À espreita do pêndulo cósmico. A mecânica da consciência*, São Paulo, Cultrix, 1990; 2) F. Capra, *A teia da vida. Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*, São Paulo, Cultrix, 1998; 3) M. Gandhi, *A roca e o calmo pensar*, São Paulo, Palas Athena, 1991; 4) J. Guitton, G. Bogdanov, I. Bogdanov, *Deus e a ciência*, Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1993.

recebendo as preces. O resultado foi surpreendente: a análise multivariável permitiu concluir que o grupo que recebeu as preces necessitou de menos assistência ventilatória, de antibióticos e diuréticos e apresentou menos pneumonia, insuficiência cardíaca congestiva e parada cardiopulmonar.

São várias as dificuldades para se tratar do presente assunto. A primeira é o desconhecimento da natureza dos fenômenos envolvidos. Essas “energias curativas” não são fisicamente caracterizáveis nem mensuráveis, sendo evidenciadas, exclusivamente, por meio de seus efeitos. Isso cria dificuldades de várias ordens. Por um lado, muitos desconsideram a existência do fenômeno e tendem a enquadrá-lo como algo não científico, conseqüentemente inexistente, e que seria fruto da ignorância ou do misticismo. Por

exemplo, uma das energias curativas mais freqüentemente estudadas é a prece, considerada uma invocação a Deus, em favor de si ou de outrem (Dossey, 1993; Levin, 1996), e Deus tem geralmente recebido por parte da ciência um tratamento preconceituoso, quando não conflituoso.

Uma crítica freqüentemente imputada às observações sobre o efeito curativo da prece e de outras energias curativas é que se trata de manifestações decorrentes de “auto-sugestão”. Os resultados do trabalho já referido de Byrd (1988), em que a prece teve efeito curativo comprovado em um estudo duplo-cego, afastam a possibilidade de se tratar de auto-sugestão. Existem também inúmeras observações (revistas por Benor, 1990) em que a “prece” foi capaz de influenciar vários sistemas experimentais, supostamente não sujeitos a auto-sugestão, como células e microorganismos. \*

#### **Carlos Eduardo Tosta**

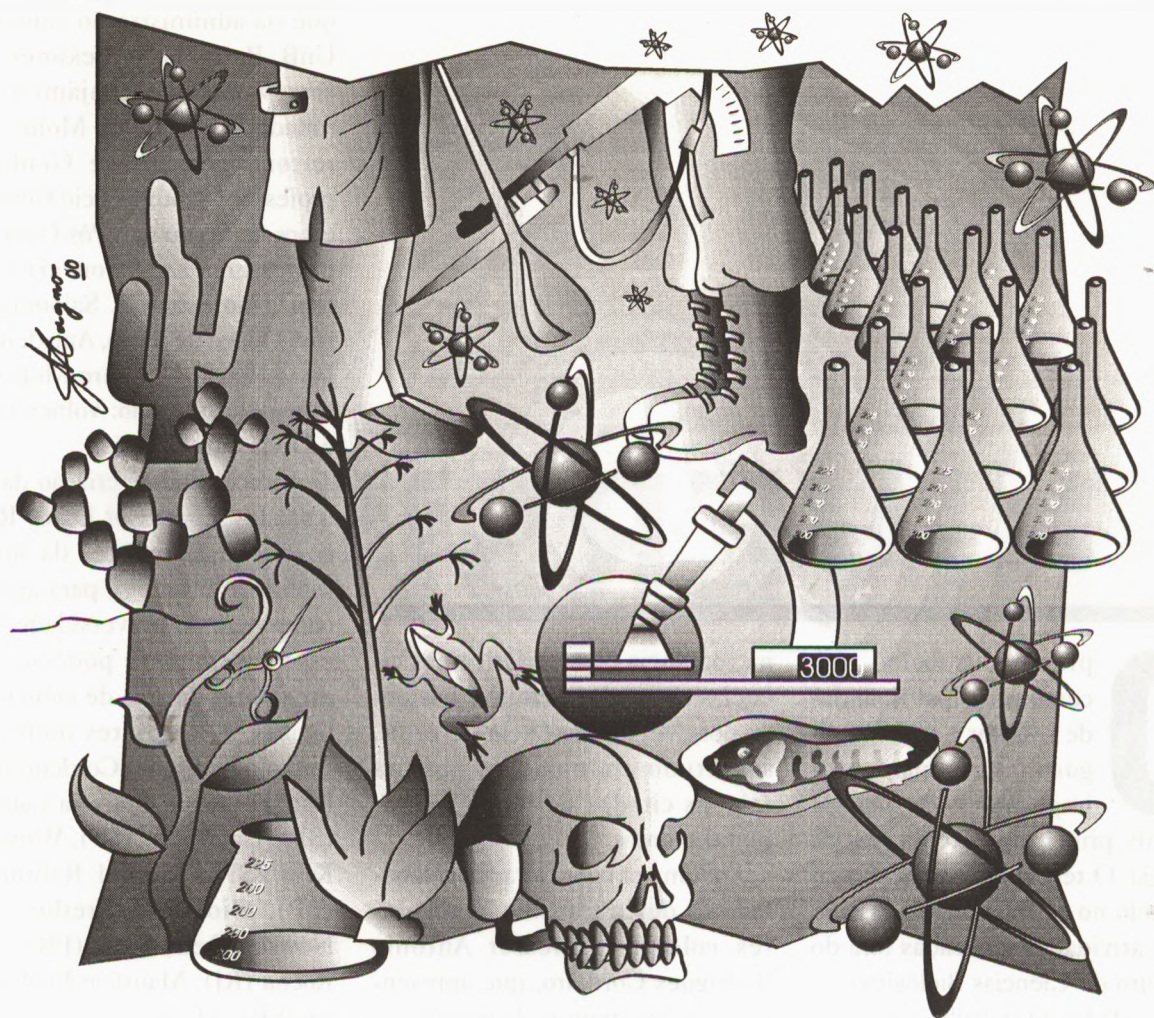
Médico (Universidade Estadual do Rio de Janeiro), mestre em Medicina Tropical (Universidade Federal do Rio de Janeiro), PhD (Universidade de Londres), pesquisador e professor titular de Imunologia da Universidade de Brasília. Tem publicado vários trabalhos científicos, especialmente sobre imunologia das doenças infecciosas, e tem feito palestras em instituições científicas do Brasil, Inglaterra, França, Itália, Venezuela e Estados Unidos.

## **referências bibliográficas**

(Imunologia para o não-imunologista)

- DESOWITZ, R. S. 1987. The thorn in the starfish. The immune system and how it works. Nova York: WW Norton.
- HALL, S. S. 1997. A commotion in the blood. Life, death, and the immune system. Nova York: Henry Holt.
- LAPPÉ, M. 1997. The Tao of Immunology. A revolutionary new understanding of our body's defenses. Nova York: Plenum.

# IMUNOLOGIA



Carlos Magno

# BIOLOGIA

NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Isaac Roitman

O presente trabalho tem como principal finalidade resgatar e registrar alguns fatos e momentos importantes da história da UnB, principalmente na área da biologia. O termo biologia será aqui utilizado no sentido amplo. Assim, várias atividades realizadas fora do Instituto de Ciências Biológicas serão abordadas. O trabalho não se caracteriza como um documento histórico, mas como uma crônica com inspiração em depoimentos pessoais e fatos recuperados da memória de pessoas que viveram uma experiência profissional e emocional importante no dia-a-dia da UnB.

Dessa forma, as linhas que se seguem não cobrirão todos os acontecimentos e personagens no contexto do tema abordado. Os fatos e as pessoas mencionados são aqueles que se tornaram mais marcantes para o autor e para as pessoas que colaboraram na construção deste artigo. Como a recuperação de fatos registrados na memória não pode ser definida como uma

metodologia característica das ciências chamadas exatas, é bastante possível a existência de erros, sobretudo em nome de pessoas (alguns citados de forma incompleta) e datas.

Podem ser considerados colaboradores deste trabalho os seguintes colegas: professor Antonio Rodrigues Cordeiro, que apresentou suas lembranças do período de 1963 a 1965; professor Paulo Espírito Santo Saraiva, que colaborou com eventos e experiências vividas principalmente no período 1967-1972; Sueli Soares Felipe, atual diretora do IB, que forneceu informações recentes das atividades da biologia na UnB. A todos eles o autor agradece, destacando que sem essa colaboração este depoimento seria incompleto.

#### **OS BIÓLOGOS NA CONCEPÇÃO E NA ADMINISTRAÇÃO DA UNB**

Se considerarmos como biólogos todos os profissionais com formação biológica a despeito de uma formação profissional específica,

podemos observar que um grande número de profissionais ligados à biologia ocupou cargos de destaque na administração superior da UnB. Reitores: professores Zeferrino Vaz, Caio Benjamim Dias, Amadeu Cury, Lauro Mohry (atual reitor). Decano de Graduação: professor Cláudio Lúcio Costa. Decanos de Pesquisa e Pós-Graduação: professores Luiz Gouveia Labouriau, João Bosco R. Salomon, Milton Thiago de Melo, Amadeu Cury, Isaac Roitman, Lauro Mohry. Decanos de Extensão: Volney Garrafa e Doris Santos Faria.

Antecedendo à criação da UnB, o saudoso professor Darcy Ribeiro convocou expoentes da intelectualidade brasileira para ajudar na concepção da universidade. Entre esse contingente pode-se destacar, dentro da área de ciências biológicas, os seguintes professores: Antonio Rodrigues Cordeiro (RGS), Luiz Fernando Gouveia Labouriau (SP), Isaías Raw (SP), Warwick E. Kerr (SP), Michel Rabinovitch (SP), Giorgio Schreiber (BH), Newton Freire Maia (PR), Arnold Rocha (RJ), Maurício Rocha e Silva (SP), Moura Gonçalves (SP), Walter Oswaldo Cruz (RJ), Haity Moussatche (RJ) e Casemiro Victorio Tondo (RGS).

#### **OS PRIMEIROS ANOS E AS PRIMEIRAS TURBULÊNCIAS**

A biologia na UnB começou a existir em janeiro de 1963 com a vinda de um grupo de geneticistas e a instalação de um laboratório provisório em sala contígua à do reitor Anísio Spinola Teixeira. Naquela ocasião, foi criado o Departamento de Genética dentro do Instituto de Ciências Biológicas, chamado de Instituto Central de Biociências, cujo coordenador era o professor Antonio R. Cordeiro.

Para dar início ao trabalho e às aulas, foram trazidos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul alguns equipamentos doados pela Rockefeller Foundation. Nesse laboratório trabalharam em temas ligados à genética de populações e citogenéticas de várias espécies de *Drosophila* os seguintes professores: Antonio R. Cordeiro, Helga Winge, Alberto José Centeno e Fernando Luiz Kratz e um expressivo número de pós-graduandos. Foi adquirido um veículo (picape) para trabalhos de campo.

Alguns meses depois da instalação do laboratório de genética, a universidade foi invadida. O depoimento do professor Antonio R. Cordeiro é transcrito a seguir:

Quando os geneticistas da UnB ainda estavam no laboratório provisório ao lado do gabinete do reitor Anísio Teixeira, em princípios de abril de 1963, vimos entrar a tropa do Exército após a deposição do presidente João Goulart. Preocupava-nos o aparente desaparecimento do professor Darcy Ribeiro, do qual não tínhamos notícias. Os soldados passaram sem mesmo olhar para o prédio da Reitoria, mas entraram em todos os outros prédios e gabinetes, revistaram a biblioteca e ficaram ocupando o *campus* por algum tempo. Nosso incipiente laboratório ficou a salvo do ataque. Dias depois, o reitor Anísio Teixeira chamou-me ao gabinete e disse-me: “Vamos visitar o Darcy”. Eu fiquei surpreso e muito emocionado, sabia que estava participando de um ato político de solidariedade com riscos desconhecidos. O carro da Reitoria levou-nos a uma praça de estacionamento de uma quadra na Asa Norte. Subimos a um apartamento e lá estava o Darcy Ribeiro. Depois dos cumprimentos, ele me disse: “Cordeiro, você viu? Fomos tocar no bolso dos banqueiros e deu nisso”. Ele se referia a uma norma

do Banco do Brasil para recolhimento do dinheiro. Na verdade, a coisa não era tão simples. Darcy sabia disso, mas era uma maneira de começar uma conversa. Estava nas minhas preocupações a segurança de fuga do Darcy, e por isso lhe ofereci sairmos com o laboratório de campo da genética (picape) pelo cerrado até a fronteira mais próxima. Ele deu um vasto sorriso e disse muito confiante: “Obrigado, mas eu tenho um aviãozinho que vai me levar”. Certamente falamos em outras coisas, mas foi isso que me ficou gravado. Na volta para a UnB, o reitor (Anísio Teixeira) sugeriu-me no carro: “Vocês devem desenvolver agora mais as ciências experimentais, a matemática e a medicina, e não forçar nas áreas de ciências sociais, que podem dar motivos de intervenção

dos militares. Ele já estava contando com a sua demissão, que viria a 13 de abril de 1963, por decreto do presidente da Câmara, sr. Ranieri Mazzili, no exercício do cargo de Presidente da República.

Em 21 de abril de 1963, data de aniversário da UnB, assumiu como reitor *pro-tempore* o professor Zeferino Vaz, sendo sucedido posteriormente pelo professor Laerte Ramos de Carvalho.

No início de 1964, o Departamento de Genética instalou-se no galpão “Serviços Gerais 11 (SG 11)”, onde também vieram a se instalar outros departamentos. Em março de 1964, chegaram vários componentes do Departamento

**“Quando os geneticistas da UnB ainda estavam no laboratório provisório ao lado do gabinete do reitor Anísio Teixeira, em princípios de abril de 1963, vimos entrar a tropa do Exército após a deposição do presidente João Goulart”**

de Psicologia chefiados pela professora Carolina M. Bori e que contou com a colaboração dos professores Rodolfo Azzi (USP), Fred S. Keller e J. Gilmour Sherman (Columbia University, NY, EUA) e um grande número de assistentes e estudantes, entre eles o professor João Claudio Todorov, que viria a ser reitor da UnB na década de 1990.

Naquela ocasião, foi implantado um original método de ensino por meio de “experimentos programados”, no qual cada aluno poderia desenvolver seu aprendizado com a eficiência e a velocidade que lhe eram possíveis, sob a assistência discreta dos professores. O método deu excelentes resultados e serviria de modelo para ser adotado amplamente em todas as universidades. A UnB nesta fase atraía competências. O Departamento de Química era liderado pelo professor Otto Gottlieb. O Departamento de Botânica foi organizado com os professores João Murça Pires, Alfredo Gui Ferreira, Dimitri Sucre Benjamin e Visconde Haroldo de Figueiredo Moraes. Os espaços dos “Serviços Gerais” eram lentamente ocupados para a montagem dos setores de citologia, fisiologia, zoologia, entomologia, etc., enquanto o edifício do Instituto Central de Ciências (ICC-minhocão) estava sendo construído. Um grande número de professores foi atraído para a universidade, mas a maioria deles foi forçada a sair mais tarde da UnB: Alvaro Marchi, Ana Margarida Langenegger, Cléber José Rodrigues Alho, Francisco Gomes de Alcântara, Hugo Edilson Barbosa Rezende, Jorge da Silva Paula Guimarães, Luiz Paulo Ribeiro, Marcos Kogan, Miriam Becker, Nelson Monteiro Vaz, Paulo Lide,

Pedro Domingues Lanzieri e Pedro Jurberg. Em 1965, a UnB era uma universidade arrasada. A maior parte dos professores afastou-se em solidariedade aos professores demitidos sem nenhum argumento acadêmico.

#### **O FINAL DA DÉCADA DE 1960: A SOBREVIVÊNCIA**

A crise de 1965 provocou um grande vácuo, acompanhado de uma inevitável queda da qualidade acadêmica. Nem mesmo o prestígio de Zeferino Vaz, que foi substituído pelo professor Laerte Ramos, foi eficiente no sentido de uma recuperação rápida do padrão acadêmico da universidade. Aos poucos, porém, a UnB começou a atrair algumas lideranças. O professor Oswaldo Gonçalves de Lima veio do Recife para coordenar o Instituto de Química. O professor Barrozo (vindo da USP) juntamente com os professores Luiz Carlos Lobo e José Roberto Ferreira estruturaram a Faculdade de Ciências da Saúde com ações inovadoras no ensino médico do país: ensino em blocos, laboratórios multidisciplinares, etc.

A direção do Instituto de Biologia coube a um outro geneticista oriundo da USP (Piracicaba): professor Brugger. Aos poucos, a biologia era repovoada com a contratação de novos professores: Nelson Maravalhas (bioquímica), Humberto de Oliveira (bioquímica), Bechara (bioquímica), Waldenor Barbosa da Cruz (bioquímica), Carlos Morel (biologia molecular), Michele Dardenne, Tânia Dani, Heleny Alves de Mira (histologia), Pierre Dekeyzer (zoologia), Adauto Milanês (botânica), Terezinha Paviani (botânica), Bráulio de Magalhães Castro, Heloísa Magalhães Castro, Paulo E.

S. Saraiva (neurobiologia), Hugo do Carmo Mundin (imunologia), Maria Hermelinda Mundim, Vilneyde M. Q. Gonçalves de Lima (microbiologia), Maria Artemísia Arraes Hermans (microscopia eletrônica), Armando Takatsu (fitopatologia), George Eiten (botânica), Graziela Barroso de Amaral (botânica), José Elias (botânica).

Em 1968, ocorreu um fato que teve enorme significado para os destinos da universidade nos vinte anos seguintes: em plena fase de conturbação estudantil, que no Brasil refletia a revolta dos estudantes em todo o mundo, a UnB foi outra vez invadida, desta feita pela Polícia Militar (o Exército ficou apenas observando o *campus* a distância), com estudantes e professores presos e alguns até feridos gravemente. O depoimento do

## A crise de 1965 provocou um grande vácuo, acompanhado de uma inevitável queda da qualidade acadêmica

professor Paulo E. S. Saraiva descreve com propriedade o clima então vivido:

Tivemos de interromper as aulas, logo cedo, ouvindo ao longe os disparos dos fuzis e as explosões de bombas de gás lacrimogêneo. Encaminhamo-nos para a sala da diretoria, com os braços para cima, com os policiais à nossa volta, tão ou mais amedrontados que nós, só que um pouco mais ignorantes. O campo de futebol de salão, que ainda hoje existe próximo aos prédios de multiuso, cercado de alambrado, virou campo de concentração, para onde foram encaminhados muitos alunos e mesmo alguns professores. O nosso querido Waldenor ficou preso num camburão, durante horas, enquanto o pau rolava em torno.

Mais uma vez, a UnB enfrentava uma crise. O reitor Laerte foi substituído pelo médico mineiro Caio Benjamin Dias, e a vice-reitoria foi assumida pelo professor José Carlos de Almeida Azevedo, que era vice-diretor do Instituto de Pesquisas da Marinha e que mais tarde se tornou reitor da UnB.

O reitor Caio Benjamin Dias conseguiu atrair para a universidade um cientista de primeira grandeza: professor Wladimir Lobato

Paraense, parasitologista mineiro que, por sua vez, atraiu os professores Luiz Gouveia Labouriau (então no Instituto de Botânica de São Paulo) e Manuel Mateus Ventura (então na Universidade Federal do Ceará). Esse trio iniciou o período de renascença da biologia na UnB.

### O INÍCIO DA DÉCADA DE 1970: A RENASCENÇA

O Instituto de Ciências Biológicas (IB) no início da década de 1970 era constituído de quatro departamentos. O primeiro era o Departamento de Psicologia, que no final da década de 1980 foi transformado em Instituto de Psicologia. A principal ligação desse departamento com as áreas da biologia era realizada pelo grupo de psicologia experimental liderado pelo professor João Claudio Todorov, que se tornou mais tarde decano de Pesquisa e Pós-Graduação, vice-reitor e posteriormente reitor da universidade.

Os outros três departamentos, Biologia Celular, Biologia Animal e Biologia Vegetal, foram criados por se contar no quadro do IB com lideranças capazes de servir como referência para esses departamentos. O Departamento de Biologia

Celular era chefiado pelo professor Manuel Mateus Ventura, exposto no campo da físico-química. O Departamento de Biologia Animal era chefiado pelo professor Wladimir Lobato Paraense, liderança na área de malacologia e que até hoje trabalha no Instituto Oswaldo Cruz na cidade do Rio de Janeiro. O Departamento de Biologia Vegetal era chefiado pelo professor Luiz Fernando Gouveia Labouriau, um nome de expressão na fisiologia vegetal do país e que passou um pequeno período na administração superior da UnB ocupando o cargo de decano de Pesquisa e Pós-graduação.

Um número considerável de professores foi atraído para o IB, cujo diretor era o professor Wladimir Lobato Paraense. Nessa época, o carro-chefe do IB era o Departamento de Biologia Celular, que criou o primeiro curso de pós-graduação na área de ciências biológicas da UnB: o curso de mestrado

em biologia molecular. Vários laboratórios foram formados e consolidados neste departamento:

- *Laboratório de Microscopia Eletrônica*, que já contava com a participação da professora Maria Artemísia Arraes Hermans (aposentada e exercendo atualmente a profissão de advogada), recebeu o professor Elliot Wanatabe Kitajima (aposentado, trabalhando atualmente na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP), oriundo do Instituto Agronômico de Campinas. Esse laboratório constituiu-se, ao longo dos anos, um dos laboratórios mais produtivos da UnB, tendo alcançado prestígio nacional e internacional no campo da virologia vegetal, além de relacionar-se com outros grupos de pesquisa da UnB e de outras instituições.
- *Laboratório de Microbiologia e Imunologia*, mais tarde transformado em Laboratório de Microbiologia, agregou um grupo de professores já existentes – Hugo do

## O Laboratório de Microscopia Eletrônica constituiu-se, ao longo dos anos, um dos laboratórios mais produtivos da UnB

Carmo Mundim (aposentado e atuando em laboratório de análises clínicas), Maria Hermelinda Mundim (falecida), Vilneyde M. Q. Gonçalves de Lima (aposentada) – com professores vindos do Instituto de Microbiologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Isaac Roitman (aposentado, que trabalhou por um ano como diretor do Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense e atualmente trabalha na Universidade de Mogi das Cruzes), Celina Roitman (que da UnB foi trabalhar no CNPq, onde se aposentou, e trabalhou até o final de 1997 na Fundação Oswaldo Cruz), Armando da Costa Manaia (que da UnB foi para a Unicamp, transferindo-se posterior-

mente para a Universidade Federal de São Carlos), Nelson Alvarenga (trabalha atualmente no Centro de Pesquisas René Rachou, da Fiocruz) e Hédio Peixoto de Azevedo (aposentado). Mais tarde incorporou-se ao laboratório o professor Milton Thiago de Melo (aposentado), que posteriormente organizou um centro de primatologia na UnB e foi decano de Pesquisa e Pós-Graduação da universidade. Este laboratório, em sua fase inicial, concentrou-se na área de fisiologia de microorganismos, especialmente de tripanossomatídeos, tendo sido considerado laboratório de referência nacional e internacional no campo de tripanossomatídeos de insetos.

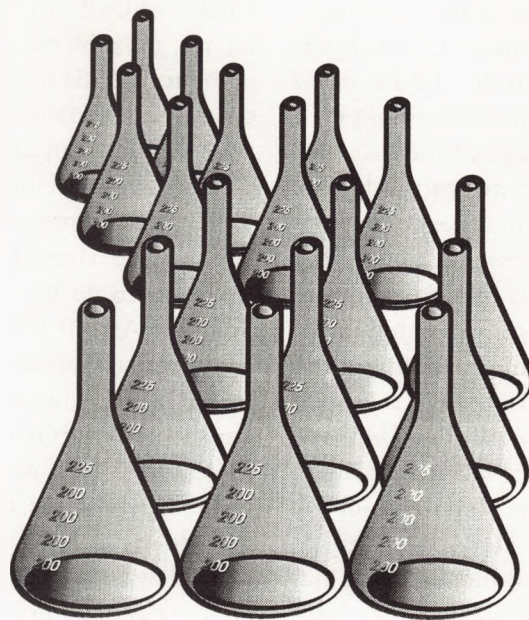
- *Laboratório de Biofísica*, liderado pelo professor Manuel Mateus Ventura (aposentado, mas mantendo sua atividade intelectual – é autor de artigo neste número da revista *Humanidades*), por muitos anos efetuou estudos físico-químicos, principalmente relacionados à interação proteína-proteína. Neste laboratório, nessa época, trabalharam os seguintes professores: Lauro Mohry (que se transferiu posteriormente para o Laboratório de Bioquímica, onde montou um grupo de estudo de química de proteínas, sendo o atual reitor da UnB), Hiroaki Ikemoto (aposentado, trabalhando atualmente na Universidade de Tocantins), Kumi-ko Mizuta (aposentada, trabalhando atualmente no CNPq), Jefferson Aragão (aposentado), Celina Martins (aposentada).

- *Laboratório de Enzimologia*, liderado pelo professor Ruy de Araújo Caldas (aposentado que ocupa atualmente o cargo de diretor do CNPq, após ter trabalhado por um pequeno período na Universidade Federal de Goiás). Neste laboratório

trabalhou também a professora Linda Caldas, que posteriormente se transferiu para o Departamento de Biologia Vegetal para montar um laboratório de cultura de tecidos e lá exerce atividades até o presente. Este laboratório fez interação com vários grupos da área de biologia da universidade.

- *Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular*, com a liderança do professor Carlos Médicis Morel (que deixou a UnB, transferindo-se para o Instituto Oswaldo Cruz, onde foi seu diretor e posteriormente presidente da Fundação Oswaldo Cruz, e hoje é o representante do Brasil na Organização Mundial da Saúde e diretor do Tropical Disease Research Program). Este laboratório contou

também com a participação do professor Eugen S. Gander (nascido na Suíça, com formação pós-graduada na França e que antes de vir à UnB cumpria um programa de pós-doutorado nos Estados Unidos. Atualmente trabalha no Centro de Recursos Genéticos da Embrapa, chefiando o Laboratório de Biologia Molecular). O laboratório contou também com a participação do professor Waldenor Barbosa da Cruz, que ainda trabalha na UnB, na área de biologia teórica. Na década de 1970, este laboratório foi considerado como um dos grupos pioneiros na área de biologia molecular no país, tendo realizado inicialmente trabalhos com células sangüíneas de patos e posteriormente introduzido a linha



Carlos Magno

## LABORATÓRIOS

de trabalho de biologia molecular de tripanossomatídeos no país.

O conjunto desses laboratórios iniciou o curso de pós-graduação em biologia molecular, curso pioneiro na área no Brasil. Esse curso deu notoriedade à biologia da UnB e atraiu, nos seus primeiros anos, alunos de diferentes partes do país. Um número expressivo de egressos desse curso representa um segmento importante na biologia molecular brasileira. Entre seus egressos podemos destacar: Samuel Goldenberg – após ter obtido o mestrado na UnB, doutorou-se na Universidade de Paris e atualmente lidera um importante grupo de biologia molecular no Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular do Instituto Oswaldo Cruz, estudando principalmente os aspectos moleculares da diferenciação em *Trypanosoma cruzi*; Luiz Shozzo

Ozaki – após ter obtido o mestrado na UnB, doutorou-se no Japão, trabalhou na França, nos Estados Unidos, na USP e na UFRGS. Atualmente, trabalha em uma empresa de biotecnologia nos Estados Unidos; Cezar Martins de Sá – após ter concluído o mestrado na UnB, doutorou-se na Universidade de Paris e atualmente trabalha no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Biologia Celular; Spartaco Astolfi Filho – após ter completado o mestrado, doutorou-se na UFRJ, chefiou por vários anos o Laboratório de Biologia Molecular e atualmente lidera um grupo de biologia molecular na Universidade Federal do Amazonas; Elza Fernandes de Araújo – após ter concluído o mestrado na UnB, doutorou-se pela UFRGS e atualmente é docente da Universidade Federal de Viçosa; Cyrano

Ulhoa – após ter concluído o mestrado, obteve o doutorado na Inglaterra e atualmente é professor titular da UFG.

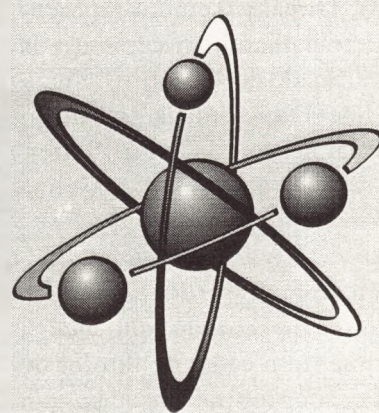
Posteriormente, vários egressos do curso de pós-graduação em biologia molecular foram absorvidos no quadro docente da UnB, entre eles: Sueli Soares Felipe (atual diretora do IB), Maristella de Oliveira Azevedo, Carlos Roberto Felix, Beatriz Dolabella de Lima, Elizabeth Maria Talá de Souza, Egle Machado de Almeida Siqueira, Ildinete Silva Pereira, Carlos André Ornelas Ricart, Consuelo Medeiros R. de Lima, Marcelo Valle de Souza, Pedro José Portugal Zanotta, Edivaldo Ximenes Ferreira Filho, Jaime Martins de Souza, Carlos Bloch e Cynthia Maria Kyaw.

Nessa época, os outros departamentos (Biologia Animal e Biologia Vegetal) também criaram e consolidaram vários laboratórios. No Departamento de Biologia Animal destacavam-se três laboratórios.

- *Laboratório de Neurobiologia*, com a tríplice liderança de Heloísa Magalhães de Castro (falecida), Paulo Saraiva do Espírito Santo (aposentado, exercendo atividade intelectual intensa) e Bráulio Magalhães

# DESTAQUE

Um número expressivo de egressos do curso de pós-graduação em biologia molecular representa um segmento importante na biologia molecular brasileira



Carlos Magno

de Castro (aposentado, exercendo com sucesso atividades na agropecuária). Este laboratório tinha liderança nacional e foi considerado referência nacional nos estudos de mecanismos da visão.

- *Laboratório de Genética*, liderado pelo professor Henrique Krieger (que após ter deixado a UnB trabalhou na Universidade Federal de São Carlos e no Instituto Oswaldo Cruz). Atualmente, o professor Krieger trabalha no Departamento de Parasitologia da Universidade de São Paulo. Faziam parte do grupo os seguintes professores: Felizardo Penalva da Silva (aposentado, trabalhando atualmente no CNPq), Pedro Aceiro Cabello (trabalhando no Instituto Oswaldo Cruz), Calógeras Albergaria Barbosa (trabalhando na Universidade Federal de São Carlos) e Renato Santos Mello (aposentado e trabalhando atualmente na Universidade do Rio Grande). Este laboratório, na época, era um dos laboratórios de referência no país na área de genética de populações.

- *Laboratório de Malacologia*, liderado pelo professor Wladimir Lobato Paraense, que atualmente trabalha no Instituto Oswaldo

Cruz. Faziam parte deste laboratório os seguintes professores: Lígia dos Reis Correia, Warton Monteiro (aposentado, trabalhando atualmente no Ministério do Meio Ambiente), Sudhir Narang (trabalhando nos Estados Unidos) e Anthony Shelly (trabalhando atualmente no Museu de História Natural de Londres). Este laboratório era considerado laboratório de referência de caramujos pela Organização Mundial da Saúde.

No Departamento de Biologia Vegetal, dois laboratórios destacavam-se: o Laboratório de Fisiologia Vegetal e o Laboratório de Fitopatologia.

- O *Laboratório de Fisiologia Vegetal* era liderado pelo professor Luiz Fernando Gouveia Labouriau (falecido – veja destaque adiante) e contava com a participação dos seguintes professores: Maria Léa Salgado-Labouriau (aposentada e


atualmente trabalhando em paleoecologia no Instituto de Geociências da UnB) e Mércia Valadares (aposentada). A linha principal deste laboratório era na área de termobiologia, com a utilização de sementes de plantas como modelo experimental. Nessa época este laboratório era considerado referência nacional na área.

- O *Laboratório de Fitopatologia* inicialmente ocupou um espaço no Laboratório de Microbiologia e posteriormente foi transformado em Departamento de Fitopatologia. Na sua fase inicial contou com a participação dos seguintes professores: Armando Takatzu (aposentado e atualmente trabalhando na Universidade Federal de Uberlândia), José Carmine Dianése (aposentado e trabalhando como professor no Departamento de Fitopatologia da UnB), Cláudio Lúcio

---

## O Laboratório de Malacologia era considerado laboratório de referência de caramujos pela Organização Mundial da Saúde

---



Costa (ainda colaborando no departamento), Francisco F. Cupertino (aposentado), Ming Lin Tien, Hassan Bolkan, C. S. Huang (os três últimos trabalhando atualmente nos Estados Unidos). Este grupo constituiu-se no alicerce para a criação do curso de mestrado em fitopatologia em 1976 (ver adiante).

#### **A DÉCADA DE 1970**

A década de 1970 pode ser considerada a fase de ouro da biologia na UnB. Algumas tentativas de fixação de grupos de vanguarda na época não se concretizaram. A de maior destaque seria a vinda de um grupo de bioquímicos e farmacologistas da Escola Paulista de Medicina liderados pelos professores Leal do Prado e José Ribeiro do Vale.

Em 1970, fazendo parte do processo de recuperação da UnB por iniciativa do professor Amadeu Curry e do então presidente do CNPq, professor Antonio Couceiro, foi organizado um curso internacional de protozoologia. O curso, com duração de quatro semanas, trouxe a Brasília um grupo de pesquisadores americanos: professores Seymour H. Hutner, Herman Baker, Harold Finley, Cyrus Bacchi e Katlen

O'Connel, que ministraram o curso em parceria com os seguintes professores brasileiros: Isaac Roitman (UFRJ), Firmino Torres de Castro (UFRJ), Zigman Brenner (UFMG/Fiocruz), Maria Deane (USP), Leônidas Deane (USP), José Ferreira Fernandes (USP), Gilberto de Freitas (que se transferiu mais tarde do IB para a Faculdade de Ciências da Saúde, onde se aposentou). Este curso, ministrado para jovens pesquisadores de várias universidades brasileiras, exigiu a construção emergencial de um laboratório que até hoje é utilizado para aulas práticas no IB.

Em pleno regime militar, a administração da UnB vivia um momento de autoritarismo. Os professores críticos não eram bem vistos pela administração superior. A maior vítima desse clima foi o professor Luiz Fernando Gouveia Labouriau. Graças a pressões, ele e sua esposa, professora Maria Léa Salgado-Labouriau, foram obrigados a se afastar da UnB e do Brasil. Após um longo período de exílio voluntário na Venezuela (Instituto Venezuelano de Investigaciones Científicas – IVIC), o casal retorna na década de 1980 à UnB, por iniciativa do então ministro de Ciência e Tecnologia Renato Archer e do reitor Cristovam Buarque. O clima de insatisfação resultou posteriormente na perda de lideranças, tais como: professor Henrique Krieger com quase todo o grupo, professor Wladimir Lobato Paraense, professor Carlos M. Morel, professor Eugen S. Gander.

A comunidade acadêmica do IB, provavelmente como reação ao autoritarismo, permanecia muito unida. Todas as sextas-feiras à tarde um grupo bastante representativo das lideranças da biologia reunia-se no Laboratório de Microbiologia.

Essas reuniões regadas a cachaça eram encontros descontraídos, em que o arsenal de piadas era alimentado. Alguns dirigentes desconfiavam que essas reuniões de descontração eram subversivas, presunção esta que podia ser considerada uma piada. Esse mesmo grupo, sentindo o fator negativo do isolamento geográfico da UnB e se contrapondo à morosidade administrativa da universidade, criou um consórcio no qual cada membro fazia uma contribuição mensal para que fossem convidados colegas de São Paulo ou Rio de Janeiro ou colegas estrangeiros que passavam por essas cidades para contatos e seminários. Os membros do consórcio faziam a indicação dos convidados e as decisões eram feitas em minutos ou poucas horas. Esse consórcio durou três anos e foi denominado de “Fraternidade dos Sete P” (pobre pesquisador paga passagem para pesquisador paupérrimo). Ao final do ano, com o sobra de caixa, era sorteada uma passagem aérea Brasília-Rio de Janeiro-Brasília, para que os pesquisadores do IB pudessem repor o iodo, elemento raro na atmosfera do planalto central. Nunca me esqueci da expressão sorridente da professora Heloísa Magalhães Castro quando foi contemplada com o prêmio.

Ainda na década de 1970 foi implantado um Laboratório de Ecologia dentro do Departamento de Biologia Vegetal, que posteriormente foi transformado no Departamento de Ecologia e que serviu de alicerce para a criação do mestrado em ecologia no ano de 1976 (ver adiante). Para organizar o grupo, foi convidado um pesquisador da Escócia, David Ross Gifford, que costumava atender alunos e professores em um gabinete im-

provisado que montava todos os finais de tarde no bar apelidado “Gilberto Salaminho”, localizado na quadra comercial 405-406 Norte, em frente à antiga SAB.

Uma outra personalidade estrangeira que pelo seu convívio influenciou a comunidade dos biólogos da UnB foi o professor Philip Marsden, pesquisador da London School of Hygiene and Tropical Medicine, que, após uma passagem pela Bahia, se radicou em Brasília na década de 1970, construindo com os professores Aluizio Prata e Vanize Macedo um dos principais centros de formação de recursos humanos e pesquisas em medicina tropical do Brasil. Antes de se transferir para o Núcleo de Medicina Tropical, o professor Marsden trabalhou no Laboratório de Microbiologia com vetores da doença de Chagas (barbeiros), juntamente com o professor Nelson Alvarenga. O professor Marsden é considerado um dos grandes parasitologistas deste século, tendo falecido em Brasília em 1997.

A biologia nessa época contou com a atividade de um grande número de professores que permaneceu por períodos variáveis na uni-

versidade, entre eles: José Maria de Almeida Júnior (ecologia humana), Agenor Melo (fisiologia), Santa Rosa (histologia), Alena Novakova (fisiologia), Manoel Banet (fisiologia), Domiciano Dias (zooecologia), Renato Balão Cordeiro (farmacologia), Kiniti Kitayama (zooecologia), Bráulio Ferreira de Souza Dias (ecologia).

Os grupos de fitopatologia e de ecologia consolidaram-se, permitindo a implantação do mestrado em fitopatologia e do mestrado em ecologia no ano de 1976.

É importante ressaltar que nessa época o nível dos cursos de graduação ministrados no IB eram reconhecidos como de elevado padrão pela comunidade acadêmica brasileira.

#### **NOVAS TURBULÊNCIAS E NOVAS RECUPERAÇÕES NA DÉCADA DE 1980**

Em 1977, a UnB novamente era alvo do governo militar, com a presença de policiais no *campus*. As sucessivas crises abalavam o entusiasmo dos professores, alguns deles maltratados, e a seqüela maior foi a evasão de algumas lideranças da biologia da UnB.

Várias iniciativas foram feitas para reparar os danos. A mais marcante foi a vinda do professor

## AUTORTARISMO

João Lúcio de Azevedo, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, numa tentativa de recuperação do laboratório de genética, que ficou muito desfalcado com a saída do professor Henrique Krieger e seu grupo. O professor Azevedo instalou uma linha de pesquisa em genética de microorganismos, tendo permanecido por quatro anos na universidade e atraído para a UnB o professor Renato Bonatelli (falecido), da Unicamp. Já no final da década de 1980, o laboratório de genética ficou sob a liderança da professora Íris Ferrari, citogeneticista de renome nacional, que se havia aposentado da USP (Ribeirão Preto). Até o presente, ela exerce atividades acadêmicas no IB.

Tentativas foram feitas para recuperar a farmacologia, que praticamente desapareceu com a saída do professor Renato Balão Cordeiro (atualmente trabalhando no Instituto Oswaldo Cruz, onde é o vice-presidente de Pesquisa da Fiocruz). Formou-se um pequeno

grupo liderado pelo professor Gilberto Aucélio, que foi desativado após sua aposentadoria.

Vários professores foram incorporados ao IB, entre eles: Elizabeth Maria Talá de Souza (biofísica), Spartaco Astolfi Filho (biologia molecular), Sueli Soares Felipe (biologia molecular), Maristella de Oliveira Azevedo (biologia molecular), Lenise Aparecida Martins Garcia (microbiologia e posteriormente na biologia molecular), Marcelo Brígido (biologia molecular), Marcelo Valle de Souza (bioquímica), Carlos Bloch (bioquímica, contratado pelo Departamento de Química), Loreny Gimenes Giugliano (microbiologia), Marilene Henning Vainstein (microbiologia), Bergmann M. Ribeiro (microscopia eletrônica), Renato O. Rezende (microscopia eletrônica), Sonia Baó (microscopia eletrônica), Helena Luna Ferreira (genética), Zulmira Guerrero M. Lacava (genética), Iara Lúcia Gomes Brasileiro (morfologia), Lacê Medeiros Breyer (botânica), Mudayatan

Haridasan (botânica), Antonio Sebben (fisiologia animal), Carlos Alberto Schwartz (fisiologia), Elizabeth N. F. Schwartz (fisiologia), Valdir Figueiras Pessoa (neurobiologia), João Carlos Hohl Abrahão (neurobiologia), Marco Marcondes de Moura (neurobiologia), Joaquim Pereira Brasil-Neto (neurobiologia), Anthony Raw (zoologia), Ivone Rezende Diniz (zoologia), Jader Marinho-Filho (zoologia), Roberto B. Cavalcanti (zoologia), Antonio Carlos Miranda (ecologia), Doris Santos Faria (neurobiologia e posteriormente ecologia), Heloísa Sinátorá Miranda (ecologia), Shiou-Pin Huang (nematologia).

Na década de 1980 foi criado no Departamento de Biologia Celular o Centro Nacional de Sequenciamento de Proteínas, sob a liderança do professor Lauro Mohry, atual reitor da UnB. Esse centro recebeu investimentos consideráveis de agências de fomento e hoje é considerado um dos centros de referência nacional de sequenciamento de proteínas.

No final da década de 1980, com o retorno do professor Luiz Gouveia Labouriau, foi criado dentro do Departamento de Biologia Celular o Laboratório de Termobiologia, que foi posteriormente transferido para o Departamento de Ciências Fisiológicas. O laboratório foi construído utilizando-se a técnica de pré-moldados em três meses, durante a convalescença de uma cirurgia cardíaca do professor Labouriau. Este laboratório é atualmente dirigido pelo professor Fabian Borghetti, editor deste número especial da revista *Humanidades*. O novo laboratório foi utilizado não só para atividades de pesquisa, mas também para atividades extracurriculares. Entre elas, cursos de matemática para

biólogos, reuniões científicas com alunos do 2º grau, observações astronômicas noturnas comandadas pelo professor Labouriau.

## A DÉCADA DE 1990: A BIOLOGIA NA UNB HOJE

### O corpo docente

Atualmente, o IB conta com 118 professores, sendo 99 com o título de doutor (cerca de 84%, muito acima da média nacional), distribuídos em sete departamentos: 1. *Biologia Celular*, com 34 professores, sendo que 30 são doutores. 2. *Genética e Morfologia*, com 21 professores, dos quais 9 são doutores. 3. *Ecologia*, com 16 professores, todos doutores. 4. *Ciências Fisiológicas*, com 14 professores, sendo 10 doutores. 5. *Botânica*, com 13 professores, dos quais 6 doutores. 6. *Zoologia*, com 11 professores, todos doutores. 7. *Fitopatologia*, com 9 professores, sendo 7 doutores.

### Os cursos de pós-graduação

Na década de 1990, os três cursos de mestrado criados na década de 1970 – *biologia molecular* (avaliação A da Capes), *fitopatologia* (avaliação A) e *ecologia* (avaliação B) – já haviam sido consolidados e foram criados os cursos de doutorado nos três cursos: *biologia molecular*, em 1991 (avaliação B), *fitopatologia*, em 1991 (avaliação A), e *ecologia*, em 1992 (sem avaliação). Em 1992, foi criado o mestrado em *botânica* (avaliação C). Está sendo implantado atualmente o mestrado em *biologia animal*.

Atualmente, o IB conta com 248 estudantes de pós-graduação (143 mestrandos e 105 doutorandos) com a seguinte distribuição entre os seus quatro cursos: 1. *biologia molecular*: 40 mestrandos e 53 doutorandos; 2. *ecologia*: 63 mes-

trandos e 33 doutorandos; 3. *fitopatologia*: 23 mestrandos e 19 doutorandos; 4. *botânica*: 17 mestrandos.

Até o presente, a pós-graduação do IB teve 471 egressos (447 mestres e 24 doutores), com a seguinte distribuição: 1. *biologia molecular*: 134 mestres e 15 doutores; 2. *ecologia*: 182 mestres e 4 doutores; 3. *fitopatologia*: 120 mestres e 5 doutores; 4. *botânica*: 11 mestres.

### A produção científica

A produção científica do IB é bastante expressiva. No período de 1994-1998 foram publicados pelo corpo docente 383 artigos em periódicos (250 em periódicos do exterior e 133 no Brasil).

A distribuição dos artigos pelos departamentos está abaixo relacionada: 1. *Departamento de Biologia Celular*: 135 (109 no exterior e 26 no Brasil); 2. *Departamento de Zoologia*: 57 (38 no exterior e 19 no Brasil); 3. *Departamento de Genética e Morfologia*: 55 (29 no exterior e 26 no Brasil); 4. *Departamento de Fitopatologia*: 44 (27 no exterior e 17 no Brasil); 5. *Departamento de Botânica*: 40 (13 no exterior e 27 no Brasil); 6. *Departamento de Ecologia*:

39 (25 no exterior e 14 no Brasil); 7. *Departamento de Ciências Fisiológicas*: 13 (9 no exterior e 4 no Brasil).

### A captação de recursos

A captação de recursos de agências de fomento nacionais e internacionais durante o período 1994-1998 é expressiva. Foram captados R\$ 9.861.247,00, com a seguinte distribuição por departamento (em R\$):

1. *Departamento de Biologia Celular*: 4.215.291,00.
2. *Departamento de Botânica*: 1.709.800,00.
3. *Departamento de Ecologia*: 1.327.480,00.
4. *Departamento de Zoologia*: 1.327.000,00.
5. *Departamento de Fitopatologia*: 774.350,00.
6. *Departamento de Ciências Fisiológicas*: 507.326,00.
7. *Departamento de Genética e Morfologia*: dados não disponíveis.

### Projetos em andamento

Nos últimos cinco anos, cerca de 191 projetos foram ou estão sendo desenvolvidos, a maioria deles com financiamento de agências de

**Nos últimos cinco anos, cerca de 191 projetos foram ou estão sendo desenvolvidos**

fomento. Em função da limitação de espaço e com a finalidade de o leitor poder ter uma idéia das temáticas de pesquisa que os pesquisadores do IB têm desenvolvido nos últimos anos, relacionamos como uma amostragem os títulos de cinco projetos, por departamento:

1. *Departamento de Biologia Celular*: Inibidor trófico e quimiotrófico de *Vigna unguiculata*: estrutura tridimensional por homologia; cinética e termodinâmica da interação com a quimiotripsina; Biologia molecular do fungo dimórfico *Paracoccidioides brasiliensis*; Estrutura e função de proteínas: citolíticas, tóxicas e proteínas transdutoras de sinal; Apoptose e o programa de morte celular programada; Estudos estruturais e ultra-estruturais da citopatologia da infecção do baculovírus anticarsia em cultura de células e intestino médio de *Anticarsia gemmatilis*.

2. *Departamento de Fitopatologia*: Taxonomia de fungos; Controle biológico de fungos; Epidemiologia e controle de doenças de plantas; Nematologia vegetal; Biologia molecular de fitopatógenos.

3. *Departamento de Ecologia*: Ecologia vegetal do cerrado; Ecologia do fogo do cerrado; Limnologia: estrutura de comunidades plancônicas e fatores físico-químicos; Ecologia de mamíferos, comportamento de primatas; Ecologia e sociedade: educação ambiental.

4. *Departamento de Genética e Morfologia*: Genética da distrofia muscular congênita: avaliação do prognóstico motor e sua relação com as anomalias do sistema nervoso central; Aspectos genéticos da contaminação de mercúrio em residentes de regiões de extrativismo da Amazônia Legal; Frequência de erros inatos do metabolismo em população com distúrbios do aparelho locomotor; Análise histológica dos órgãos dos aparelhos digestivo, reprodutor e respiratório de diferentes espécies de vertebrados do cerrado; Desenvolvimento embrionário do bicho-da-seda (*Bombyx mori*).

5. *Departamento de Zoologia*: Distribuição espacial da fauna do

cerrado; Efeito das queimadas na comunidade de insetos no cerrado de Brasília; Demografia e biologia reprodutiva do anu branco (*Guirra guirra*) na região do cerrado; Conservação e recuperação da biodiversidade em matas de galeria; Inventário biológico das abelhas nativas dos cerrados.

6. *Departamento de Ciências Fisiológicas*: Toxinas presentes na secreção cutânea de anfíbios; Metabolismo energético e fadiga muscular; Proteínas de estresse na germinação de sementes; Estudo comparativo da organização do córtex visual de primatas; Visão de cores em macacos do Novo Mundo.

7. *Departamento de Botânica*: Taxonomia de criptógamos e fanerógamos; Biologia floral e polinização de espécies nativas do cerrado; Anatomia foliar de espécies do cerrado; Variação somaclonal em plantas cultivadas (banana, abacaxi); Plantas medicinais e nativas do cerrado: avaliação do potencial econômico e biologia reprodutiva; Anatomia de madeiras.

#### *Cursos de graduação*

O IB, em 1988, teve dois cursos próprios de graduação, com um to-

tal de 471 alunos: 1. *licenciatura em ciências biológicas*: diurno: 42 alunos; noturno: 201 alunos; 2. *bacharelado em ciências biológicas*: diurno: 228 alunos. Os docentes do IB participam ainda dos seguintes cursos, ministrando principalmente disciplinas básicas: agronomia, engenharia florestal, farmácia, medicina, medicina veterinária, enfermagem e obstetrícia, nutrição, odontologia, psicologia, geologia, engenharia elétrica, engenharia mecânica, engenharia civil e química. Em 1998, o total de alunos desses 14 cursos atingiu 2.155.

Um expressivo número de estudantes egressos dos cursos de ciências biológicas e de medicina da UnB destacou-se em suas atividades acadêmicas. Entre eles podemos destacar: João Batista Calixto, que atualmente lidera um dos mais importantes grupos de farmacologia do país na Universidade Federal de Santa Catarina; John Young, que se doutorou na Rockefeller University e que durante seu pós-doutorado fez uma descoberta relevante na biologia: a descrição das perforinas; Cláudio Melo, que durante seu doutorado na Rockefeller University fez descobertas importantes no campo da biologia molecular dos processos cognitivos; Sidarta Tollendal Ribeiro, que obteve o mestrado em oito meses no Instituto de Biofísica da UFRJ e que atualmente, na Rockefeller University, dá continuidade ao trabalho iniciado por Cláudio Melo.

### Comentários finais

A história da biologia na UnB foi marcadamente influenciada pelos acontecimentos políticos a partir da década de 1960. Apesar dos altos e baixos e da lamentável perda de notáveis pesquisadores, a bio-

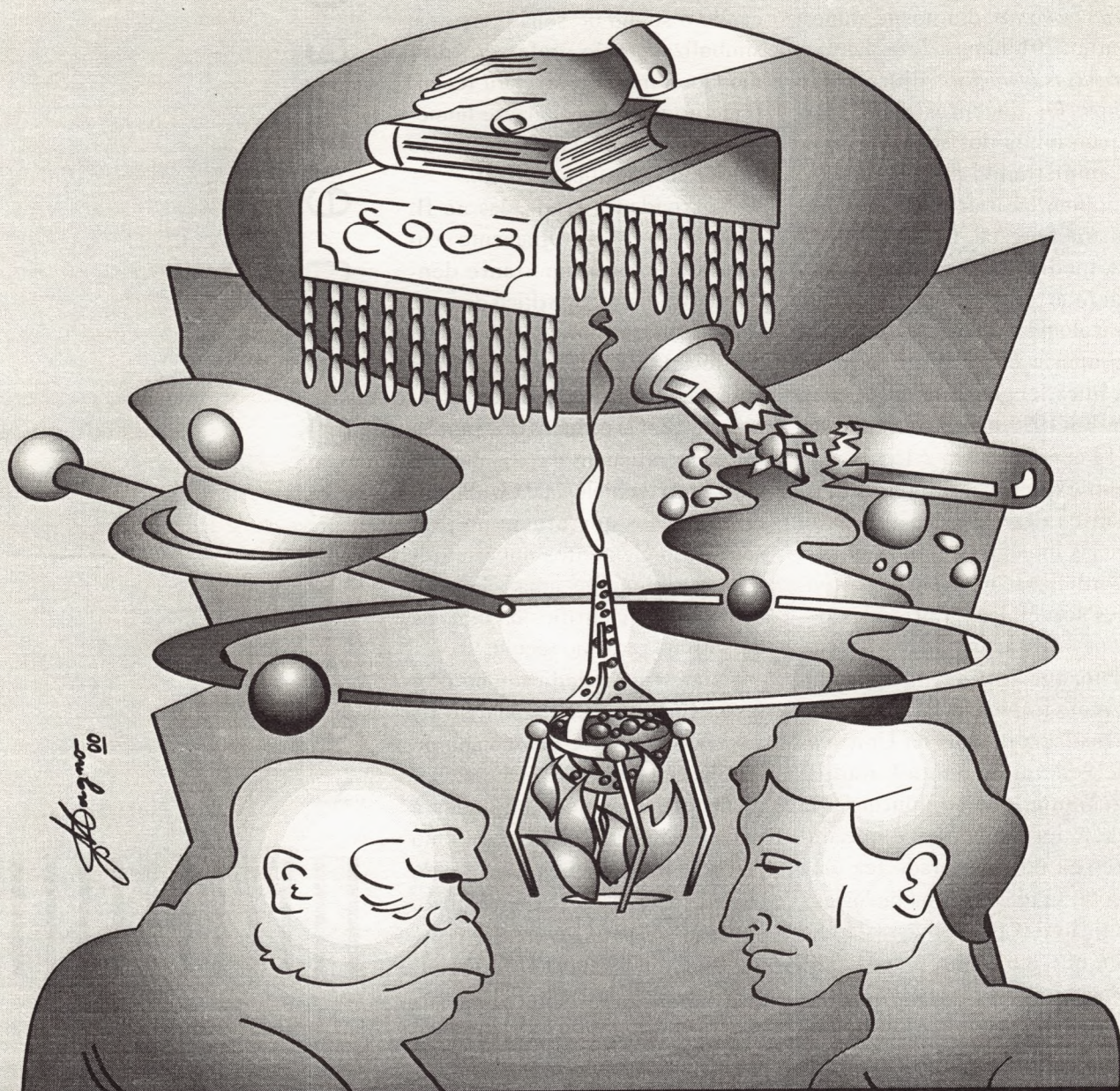
logia da UnB sobreviveu, justificando o sonho de seus pioneiros, simbolizado pelo professor Antonio Cordeiro, que recebeu recentemente uma emocionante homenagem na abertura do Encontro de Iniciação Científica da UnB.

As atividades realizadas no IB desde a sua criação certamente ocupam um espaço importante dentro do panorama científico do país. A estrutura introduzida no início da década de 1970 constituiu a base para o atual formato da estrutura do IB. Os esforços dos professores que atuaram nos 35 anos de existência da biologia da UnB, adicionados aos que atuam no presente, são elementos importantes para se vislumbrar uma relevante contribuição científica da biologia da UnB no próximo século.

Este artigo é dedicado ao professor Luiz Gouveia Labouriau (*in memoriam*), mestre que colaborou no planejamento da UnB e se dedicou em duas oportunidades à universidade, ao professor Antonio R. Cordeiro, o primeiro diretor do IB, e ao professor Wladimir Lobato Paraense, responsável pelo renascimento da biologia na UnB no início da década de 1970. \*

### Isaac Roitman

Professor titular aposentado da UnB em 1995, ex-decano de Pesquisa e Pós-Graduação da UnB, ex-diretor do Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, membro titular da Academia Brasileira de Ciências e atual diretor de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Mogi das Cruzes.



*É a sociobiologia uma ciência*

REACIONÁRIA?

**André Luís Ribeiro Ferreira**

**E**m 1974, o etólogo alemão Eibl-Eibesfeldt em entrevista a um semanário francês (*Le Nouvel Observateur*) confrontou-se com a seguinte questão: “É a etologia uma ciência reacionária?”<sup>1</sup> As preocupações e as animosidades ideológico-políticas contidas nessa pergunta ganharam maiores dimensões quando, quatro anos depois, o entomologista norte-americano Edward Wilson defendeu a fundação de uma nova disciplina que buscava combinar ecologia e etologia no seio da teoria neodarwinista: a sociobiologia.

O estardalhaço que *Sociobiology: the new synthesis*, de Wilson, gerou convida-nos a refletir sobre a relação entre o conteúdo sociopolítico de uma teoria científica e sua validade. Acusada de racista, sexista, xenófoba e reacionária, a sociobiologia parece agora, vinte anos depois, ter ultrapassado essa fase controversa em que foi obrigada a debater-se com acusações de teor ideológico. Talvez esse seja o momento adequado para retomarmos a pergunta feita a Eibl-Eibesfeldt. Ela contém questões que dizem muito sobre o fazer ciência nesse final de século.

#### SOCIOBIOLOGIA E POLÍTICA

A sociobiologia tem sido acusada de ser uma ciência reacionária, defensora do *status quo* e da ideologia burguesa da desigualdade de classes. Uma prova desse reacionarismo é sua adoção pela nova direita francesa, argumentam seus críticos.

Esse conservadorismo político é estendido ao terreno teórico-metodológico, no qual o individualismo sociobiológico é conectado ao conceito de natureza humana, cuja gestação remonta ao contexto sócio-histórico que antecede a emergência da sociedade burguesa no século XVII à noção hobbesiana da existência humana como uma guerra de todos contra todos. Essa reconstrução dos fundamentos sociopolíticos e filosóficos da sociobiologia, segundo seus opositores, mostra seu caráter ideológico reacionário.<sup>2</sup> Contrariamente a isso, a essa má ciência, conforme Lewontin (1987), existe uma boa ciência: “Existe uma boa sociobiologia. Mas não em Wilson, e sim em Kropotkin”, disse Noam Chomsky (Lewontin, 1989: 122).

Para Lewontin e outros partidários dessa crítica política, os critérios utilizados para diferenciar a boa da má ciência, assim como

para atestar o caráter reacionário da sociobiologia, são critérios eminentemente políticos. Contra esse argumento, defenderemos aqui que: 1) embora o *status* político de uma teoria possa dificultar ou facilitar sua recepção, não se relaciona com sua validade; 2) essa crítica política está sedimentada numa resistência ao projeto sociobiológico, que também pode ser entendida: a) como resistências políticas e epistemológicas de fundo moral comuns à teoria da evolução

<sup>1</sup> Esta pergunta é citada pelo antropólogo Antônio Bracinha Vieira no prefácio que fez para a edição portuguesa do livro de Eibl-Eibesfeldt, *Amor e ódio*.

<sup>2</sup> O termo ideologia é utilizado por esses críticos da sociobiologia no sentido em que Marx o empregou em *A ideologia alemã*: “Ideologias são as idéias dominantes de determinada sociedade em determinada altura. São idéias que exprimem a ‘naturalidade’ de qualquer ordem social e ajudam a mantê-la” (Lewontin, Rose e Kamin, 1987: 23). Adotaremos o conceito de Dumont: “Dou o nome de ideologia a um sistema de idéias e valores que tem curso num dado meio social” (Dumont, 1993: 20).

– Eu manipulo, diz o alquimista.

– Não, tu sonhas.

– Eu sonho, diz *Novalis*.

– Não, tu manipulas.

*Bachelard*



desde Charles Darwin; b) como resistências epistemológicas a um projeto interdisciplinar visto como imperialista; 3) a sociobiologia contém em seu bojo os germes de uma promissora sociologia comparada; 4) essa crítica política ignora as possibilidades de autonomia do conhecimento.

#### **A CELEUMA SOCIOBIOLÓGICA: CIÊNCIA REACIONÁRIA *VERSUS* CIÊNCIA REVOLUCIONÁRIA?**

O núcleo da crítica de biólogos e cientistas sociais à sociobiologia recorre a um argumento da sociologia do conhecimento que enfrenta dificuldades pela sua generalidade e por professar uma relação de causalidade que mata a possibilidade de autonomia do conhecimento científico: a idéia de que todo conhecimento é determinado pelo seu contexto sócio-histórico e que, portanto, pode ser questionado, por exemplo, pela sua condição de classe. Munidos de argumentos políticos, alguns críticos descrevem o suposto “reacionaris-

mo político” da sociobiologia pela análise de seus pressupostos políticos e filosóficos, para depois inferir que se trata de uma má ciência.

Essa crítica traz-nos de volta (ou será que nos leva a) o velho debate do início do século em torno do círculo de Viena: na ciência, a verdade está a serviço da moralidade ou ocorre o contrário?

Depois de rios de tinta gastos nessa discussão, é possível afirmar que a ciência não é moralmente neutra, pois os cientistas competem entre si e são influenciados pela ideologia da sociedade em que vivem, o que pode afetar a escolha de seus pressupostos teóricos. Como bem disse Kneller (1980: 278): “...na ciência, a moralidade está a serviço da verdade, não o inverso. A ciência, portanto, pode considerar-se moralmente neutra na medida em que procura entender o mundo, não melhorá-lo. O seu objetivo é descobrir a verdade, não fazer o bem”.

O argumento de Kneller (1980) permite-nos entrar no cerne da

celeuma sociobiológica. Embora tenha múltiplos desdobramentos, é importante ressaltar que a busca por uma verdade que seja pública e objetiva não caracteriza uma escolha moral, mas intelectual. Isso posto, vejamos como esse debate se reflete na discussão entre sociobiólogos e seus críticos.

A sociobiologia constitui uma disciplina em grande parte baseada nas comparações entre espécies sociais. Parte do pressuposto de que toda forma viva pode ser vista como uma experiência evolutiva. Devemos recusar a possibilidade de validade desse pressuposto porque visualizar os seres humanos como um produto de milhões de interações entre genes e o ambiente pode significar uma limitação da liberdade humana?

Em nome da dialética e de uma ciência biológica proletária, ou seja, de uma verdade posta a serviço da busca de uma moralidade, os neolamarckistas comunistas soviéticos combateram a chamada genética burguesa. Liderados pelo engenheiro agrônomo Trofim Lyssenko, defenderam uma reviravolta na produção agrícola soviética por meio de certas práticas que permitiam obter no inverno colheitas de um trigo plantado no verão. Por que será que a apologia lyssenkoísta naufragou, apesar de a conotação política de sua “teoria” estar a

**Na ciência, a  
verdade está a  
serviço da  
moralidade ou  
ocorre o contrário?**



# REVOLUÇÃO

serviço da “revolução”, “da mudança social”?

A biologia revolucionária de Lyssenko naufragou naquilo em que a genética “reacionária” de Mendel se manteve de pé: na dimensão dos testes que podem refutá-la ou não. Para Lyssenko, a noção de espécie era uma noção burguesa e Darwin havia se equivocado, ao introduzir “na teoria da evolução, paralelamente com seu fundamento materialista, as idéias reacionárias de Malthus. Essa grande falha é revigorada hoje em dia pelos biólogos reacionários” (Lyssenko, s/data).

Por determinado tempo, alguns biólogos ocidentais ficaram em dúvida se Lyssenko havia ou não conseguido superar a genética mendeliana. O seu insucesso não se deve à apologia política de seu argumento, nem à perseguição aos geneticistas russos mendelianos. Lyssenko não conseguiu porque seu lamarckismo não explicava o mecanismo da herança e sua variabilidade. Lyssenko foi um grande impostor, não por defender um conhecimento que estivesse a serviço da Revolução Russa, mas por não entender que o fato de uma teoria servir a um propósito útil é irrelevante do ponto de vista do conhecimento.

Como bem disse François Jacob, “na verdade, para Lyssenko, o

verdadeiro debate não era de ordem científica, mas ideológica” (Jacob, 1998: 35). Se Darwin utilizou conceitos de Malthus, o equívoco pode estar na incompatibilidade entre a idéia que o conceito tenta expressar e a realidade que ele tenta descrever, e não na conotação política do conceito, se ele é emprestado de um filósofo conservador ou progressista, defensor do materialismo histórico ou do individualismo – não faz a menor diferença. A solidez de uma teoria não está fundamentada na sua simpatia política, conquanto isso possa ajudar na sua negociação.

Da mesma forma, algumas críticas<sup>3</sup> aos pressupostos sociopolíticos<sup>4</sup> da sociobiologia incorrem no mesmo erro. Em vez de questionarem o poder explicativo da teoria sociobiológica, contentam-se em avaliar os pressupostos sociopolíticos e suas implicações. Daí o porquê da condenação à sociobiologia ser eminentemente política. Alguns etólogos e cientistas sociais preferem esconder sua simpatia pelo projeto sociobiológico, tal a virulência que o debate desenvolveu no seu aspecto ideológico.

Robert Wright caracterizou bem essa virulência quando diz que “o livro de Wilson atraiu tanta antipatia, provocou tantas acusações de más intenções políticas, tantas

<sup>3</sup> Embora muitos cientistas sociais condenem a sociobiologia pelos seus pressupostos políticos, poucos se deram ao trabalho de fazer uma análise científica da sociobiologia. Alguns jornalistas científicos tentam fazer isso, como por exemplo Brockmann (1988) e Wright (1996). Nas ciências sociais, é comum encontrarmos brevíssimos comentários sobre o reducionismo e o “darwinismo social” da sociobiologia. Morin (1984) e Santos (1989) falam muito vagamente. Nesse sentido, as análises de Sahlins (1977), Bock (1982) e Elster (1994) constituem exceções. Na biologia, tanto o aspecto político quanto o epistemológico têm sido avaliados. Lewontin (1987, 1989) é considerado o principal contestador da dimensão política, enquanto, nos aspectos mais teóricos e epistemológicos, Gould (1987, 1993), Rose (1997), Blanc (1994) e Sacarrão (1989 a e b) têm desenvolvido uma reflexão mais pormenorizada. Há também uma discussão no âmbito filosófico envolvendo Araújo Jorge (1994), Ruse (1983, 1995) e Kitcher (*apud* Gould, 1993).

<sup>4</sup> Para Lewontin, Rose e Kamin não há distinção entre os pressupostos sociopolíticos da sociobiologia e suas implicações sociopolíticas. Ambos são nefastos, porque indistinguíveis. Então, embora afirmem a condição social da ciência para explicar a perspectiva conservadora da sociobiologia, acabam por negá-la em seguida.

caricaturas da substância da sociobiologia, que o nome ficou maculado. A maioria dos militantes da área por ele definida hoje prefere evitá-lo” (Wright, 1996: XVI). É claro que muitos evitam o termo e insistem que o fazem por causa de diferenças de perspectivas entre a abordagem biossocial formulada pela sociobiologia e outras em gestação ou já existentes. Mas, conforme bem assinalou Wright, “a sofisticação conceitual do campo certamente cresceu desde 1975. Mas tais diferenças quase certamente não teriam impedido muita gente de usar o termo cunhado por Wilson, se ele não tivesse adquirido lamentáveis conotações políticas no meio acadêmico” (Wright, 1996: 346). A luta pela legitimidade da sociobiologia dá-se em dois campos, o político e o científico.

Stephen Toulmin, refletindo sobre a distinção kuhniana entre ciência normal e ciência revolucionária, fez algumas considerações sobre a forma como Thomas Kuhn trabalha com a noção de “revolução”, que pode ser instrutiva para compreendermos a dicotomia entre ciência revolucionária e ciência reacionária<sup>5</sup> que fundamenta grande parte da crítica à sociobiologia.

Segundo Thomas Kuhn, o desenvolvimento científico estrutura-se em torno de dois períodos alternados e distintos. Um período de ciência normal, dominado por um paradigma, ou seja, uma tradição de pesquisa dentro da qual os cientistas resolvem os quebra-cabeças de seu campo. E períodos de revoluções excepcionais, ocasiões em que os velhos paradigmas são abandonados em nome de uma nova tradição de pesquisa, que perdura por algum tempo até que uma nova revolução científica institucionalize um novo paradigma e assim por diante.

Para Toulmin, a história política tem demonstrado que a palavra “revolução” pode servir de rótulo

descritivo útil, mas faz muito tempo que perdeu seu valor como conceito explanatório. No devido tempo, historiadores políticos

foram obrigados a reconhecer que a mudança política nunca envolve, de fato, uma solução tão absoluta e tão completa de continuidade. Quer consideremos a Revolução Francesa, quer examinemos a Revolução Norte-Americana ou a Revolução Russa, em qualquer um desses casos as continuidades da estrutura e da prática políticas e administrativas são tão importantes quanto as mudanças (Toulmin, 1979: 51).

Portanto, no nível explanatório, a “diferença entre mudança normal e revolucionária revelou-se,

<sup>5</sup> Sérgio Rouanet faz uma distinção semelhante entre teoria crítica e teoria conservadora. Segundo ele, “a verdade não é nem um objeto visível a olho nu nem uma essência a ser destilada do objeto; ela é algo de parcialmente construído, a partir de certas categorias de análise, que variam conforme o interesse cognitivo do observador: quem quer transformar a realidade, verá coisas que jamais serão vistas por quem quer conservá-la” (Rouanet, 1987: 128-129).

Eis uma categorização absoluta entre o “conservador” e o “transformador”. É importante ressaltar o convite que tal distinção faz à intolerância. O próprio

Rouanet convida-nos a rejeitar as teorias conservadoras em prol das teorias críticas, transformadoras. Mas o conhecimento científico não se caracteriza como um conhecimento crítico? A interpretação que um historiador faz de uma obra de filosofia depende da concepção que ele faz da filosofia, que por sua vez se correlaciona com uma série de outros fatores. Evidentemente, a postura ideológica tem a sua influência, mas não é uma influência decisiva. Caso isso aconteça, o historiador estará desfigurando a essência do que constitui a história da filosofia. A influência postulada por Rouanet pode ser caracterizada como um exagero retórico.

afinal de contas, mera diferença de grau" (Toulmin, 1979: 52). A distinção adotada por Kuhn exige, assim, restrições similares. Ou seja, não há, conforme a distinção kuhniana sugere, diferenças absolutas entre a "fase de ciência normal" e a "fase de ciência revolucionária". Raymond Aron mostrou isso quando disse que "nem tudo será transformado por uma revolução. Sempre restarão mais continuidades do que imaginam os fanáticos. O espírito não é de todo prisioneiro do destino comum" (Aron, 1986: 140). Se tomarmos o reacionário ou o reacionarismo como atitudes ou atividades que tentam opor-se às mudanças e restabelecer o *status quo*, podemos di-

zer que todo "revolucionário" carrega consigo uma dimensão "reacionária".<sup>6</sup> Por outro lado, é difícil imaginar uma predisposição completa para impedir qualquer inovação ou mudança no campo das atividades humanas. E já que numa "revolução" há mais continuidade do que mudança, a distinção entre reacionário e revolucionário não pode ser construída de maneira absoluta. Assim como não existe uma "fase revolucionária" no sentido puro, também não existem o revolucionário e o reacionário. Podemos dizer que se trata muito mais de tipos ideais no sentido weberiano, de constructos de idéias que não encontram correspondência na realidade.

ponto de vista político e defensor de um individualismo liberal que naturaliza os conflitos e as desigualdades de uma sociedade hierárquica.

O núcleo de maior representação dessa crítica política esteve vinculado a um grupo de estudos da sociobiologia chamado Ciência para o povo (*Science for the people*). Liderado pelo geneticista Richard Lewontin e outros cientistas de renome como Stephen Jay Gould e Agnes Heller, esse grupo converteu-se no principal crítico político da sociobiologia, na fase mais fleumática da celeuma sociobiológica. Fase em que, segundo Araújo Jorge (1994), a questão parecia ser "queimar Darwin para salvar Marx".

É possível ler com esse espírito dois trabalhos: o artigo que Lewontin escreveu com Richard Levins sobre o lyssenkoísmo e o livro que ele, o neurobiólogo Steven Rose e o psicólogo Leon Kamin escreveram, objetivando fazer uma crítica aos fundamentos sociopolíticos e filosóficos da sociobiologia.

Em "El problema del lyssenkoísmo", Lewontin e Levins apresentam o lamarckismo de Lyssenko como um fenômeno sócio-histórico complexo, resultado de uma conjunção de circunstâncias ideológicas,

#### AS RESISTÊNCIAS À SOCIOBIOLOGIA

Podemos caracterizar as resistências à sociobiologia como sendo de duas ordens: política e epistemológica.<sup>7</sup> A noção de resistência sugere-nos níveis de legitimidade, no que se refere ao aspecto epistemológico, e de permissividade, no que se refere ao político.

A resistência política está ligada, fundamentalmente, à identificação da sociobiologia como um novo darwinismo social, conservador do

<sup>6</sup> Por esse motivo, segundo Aron, o revolucionário não tem programa, senão demagógico. Se nos apegarmos a ideologias, estaremos espontaneamente ao lado dos revolucionários, que normalmente prometem mais que os outros. O revolucionário, diz-nos Aron "...esforça-se, ao destruir seu meio, por se reconciliar consigo mesmo, visto que o homem não estará de acordo consigo próprio se não estiver de acordo com as relações sociais das quais, por bem ou por mal, é prisioneiro" (Aron, 1986: 138).

<sup>7</sup> A classificação é arbitrária. Poderíamos, por exemplo, incluir os fatores sociológicos como uma ordem à parte, mas como temos enfatizado os níveis político e epistemológico, assim o faremos.

## SOCIOBIOLOGIA

materiais e políticas, sendo ao mesmo tempo a causa mais importante dentro dessas circunstâncias. E mais uma vez recorrem ao determinismo sócio-histórico do marxismo dogmático, o que do ponto de vista metodológico inviabiliza a compreensão do lyssenkoísmo como um fenômeno complexo. Além disso, Lewontin e Levins (1980) ignoram o fato de que o movimento lyssenkoísta não promoveu uma revolução científica ou de que uma revolução política não constitui condição suficiente para o desenvolvimento de uma revolução científica. A grande questão é entender o que, naquelas condições sociais, limitou, ou até mesmo impediu, o desenvolvimento de uma ciência biológica soviética. E não, como querem Lewontin e Levins, entender a complexidade daquele movimento como um processo científico que inviabilizou a filosofia marxista, pois pelo argumento apresentado estivemos diante de um movimento político, mas não de uma celeuma científica. Explicar, por exemplo, o conflito entre partidários de Lyssenko e seus críticos a partir da origem de classe é um exercício ideológico irrelevante do ponto de vista do conhecimento. Pode explicar por que o lyssenkoísmo perdurou, mas não por que sua genética fracassou.

Em *Genética e política*, Lewontin, Rose e Kamin desfilam uma sucessão de correlações equivocadas. Ainda que o livro traga contribuições importantes no que se refere à crítica biológica que cada autor faz dentro de sua especialidade, ele persiste no equívoco de substituir o suposto determinismo biológico da sociobiologia pelo determinismo do marxismo vulgar (determinismo de classe que re-

duz a ciência contemporânea a uma ideologia da dominação do mundo pela burguesia conquistadora). O capítulo "Ideologia burguesa e a origem do determinismo" não deixa nada a dever às críticas desavisadas de Lyssenko à genética mendeliana. Parafraseando François Jacob, para *Genética e política* o debate continua a ser de ordem ideológica e não científica.

Defendendo o materialismo dialético como o método mais apropriado para entender a interação entre gene, organismo e sociedade, Lewontin, Rose e Kamin tentam mostrar como que o "determinismo biológico" da sociobiologia se correlaciona com a atual sociedade hierárquica e com a defesa do *status quo* burguês. Tentativa infrutífera porque, além de ignorarem a literatura básica das ciências sociais, não conseguem sair do atoleiro ideológico segundo o qual "essa sociedade é desigual e injusta, logo não podemos nos conformar com ela". Não fazem mais do que confirmar as afirmações de Louis Dumont de que a aversão à hierarquia é geral entre nossos contemporâneos e que a "...hierarquia está no coração do 'impensado' da ideologia moderna" (Dumont, 1992: 16).

O argumento de *Genética e política* constrói-se, fundamentalmente, a partir de uma crítica externa à teoria sociobiológica. Lewontin, Rose e Kamin iniciam o livro proclamando-se defensores de uma sociedade socialista e adversários, na metodologia científica, da perspectiva individualista (que enfatiza a prioridade do indivíduo sobre o coletivo), visto que esse tipo de abordagem é incongruente como ideal de uma sociedade socialista. Mas não discutem a validade da perspectiva individualista para o

fenômeno em questão, apenas sua validade política.

Stephen Jay Gould classificou um conjunto de trabalhos precursor da sociobiologia de “etologia pop”: *The territorial imperative* (1966), de Robert Ardrey; *On aggression* (1966), de Konrad Lorenz; *The naked ape* (1967), de Desmond Morris; e *The imperial animal* (1970), de Tiger e Fox. Segundo Gould, esses livros partem do pressuposto equivocado de que o homem é naturalmente um ser agressivo e territorialista. Esse conjunto de trabalhos estende para o comportamento humano algumas características do comportamento animal. Mas não se trata, como equivocadamente tem-se argumentado, de animalizar o homem, nem de humanizar o animal. Este é um mal-entendido que é estendido à sociobiologia, mas que explica, segundo alguns de seus críticos, seu caráter conservador e sua afinidade com o darwinismo social.

Para aqueles que descrevem a sociobiologia como um novo darwinismo social, utilizar o liberalismo econômico para explicar a complexa teia da vida é tão errôneo quanto utilizar o liberalismo biológico (teoria da seleção natural)

para explicar as relações sociais. E por quê? Porque a conotação política dessa idéia não pode corresponder à concepção de sociedade que esses críticos almejam. Mas Lewontin, por exemplo, não tenta aplicar o materialismo dialético para explicar a relação entre gene, organismo e sociedade? Por que a sua perspectiva seria mais legítima? Por ser mais progressista? Mais uma vez caímos no debate sobre a importância da seleção ideológica das idéias que podem inspirar uma explicação científica.

Essas discussões de natureza predominantemente ideológica constituem campos férteis à produção de mal-entendidos. O sociólogo francês Bruno Latour reconhece que “como na França a sociobiologia só foi conhecida por intermédio de movimentos de extrema-direita, o mal-entendido generalizou-se. Falar de sociedade animal complexa chega a ser, ali, um verdadeiro tabu” (Latour, 1995: 207-208).

A resistência epistemológica tem duas facetas que se correlacionam, mas que se distinguem pelas suas origens. À primeira denominamos resistência epistemológica de fundo moral e é comum à teoria da evolução desde Charles

Darwin: trata-se da retomada da idéia darwiniana de uma nova relação entre homens e animais. A segunda diz respeito à leitura da proposta epistemológica sociobiológica como um projeto interdisciplinar, visto que ele pretende ser um eixo para a construção de pontes entre as ciências naturais e as sociais.

A teoria da evolução caracteriza-se como uma das teorias mais fecundas em controvérsias. Foi assim no tempo de Darwin, tem sido assim com a emergência da sociobiologia. É claro que as controvérsias são diferentes. Da sociedade vitoriana de Charles Darwin, na qual a autoridade epistemológica era a religião, emergiu a sociedade moderna, centrada no mercado e tendo como autoridade epistemológica a ciência. O darwinismo, sem dúvida, deu a sua contribuição para essa transformação. Mas não obstante a solidez da teoria evolutiva, ela continua a enfrentar resistências com sua legitimidade. Na França, país com forte influência lamarckista, somente há pouco tempo o darwinismo passou a ser

**A teoria da  
evolução  
caracteriza-se  
como uma das  
teorias mais  
fecundas em  
controvérsias**

reconhecido,<sup>8</sup> enquanto nos Estados Unidos uma parcela significativa de protestantes exigiu que os educadores atribuíssem o mesmo peso à teoria científica e ao relato do *Gênesis*. Segundo Blanc: “Essa corrente de opinião foi forte o suficiente para que o ex-presidente Ronald Reagan promettesse apoiá-la, quando de sua campanha eleitoral em 1980. Numerosos processos e manobras parlamentares, na década passada, fizeram com que criacionistas e evolucionistas americanos se confrontassem a respeito do ensino da teoria da evolução” (Blanc, 1994: 10-11).

Tudo isso nos mostra que há fortes resistências epistemológicas de fundo moral e político à idéia de que o homem possa descer dos primatas. Mas nos chocaria admitir que nosso corpo social também desce dos primatas? A etologia e, principalmente, a sociobiologia têm popularizado essa idéia, que não tem nada de revolucionária; mostra-nos Edgar Morin: “Trata-se de uma consequência lógica do princípio darwiniano da evolução, que até agora estava estranhamente reduzido à anatomia do homem, e que também é válido, como a primatologia nos indica, para o comportamento e para a sociedade” (Morin, 1984: 78).

Fundamentalmente, a resistência epistemológica à sociobiologia constitui a retomada de um dos aspectos mais delicados do projeto darwiniano que a “revolução biológica”<sup>9</sup> ocorrida na década de 1950 coloca novamente em pauta. Nós, homens e animais, somos todos seres sociais e há alguns princípios básicos que governam a evolução dos sistemas sociais, diz-nos a nova biologia. Portanto, estamos diante de novas condições teóricas que supostamente

nos permitem redefinir as relações entre ser humano e animal, ciências naturais e ciências sociais.

Finalmente, a sociobiologia, como outros projetos biossociais, enfrenta resistências por querer abarcar campos disciplinares muito amplos. No caso da sociobiologia, as resistências são maiores porque seu projeto é ambicioso e polêmico.

Há conflitos de interesse na demarcação da fronteira entre o território sociobiológico e o território das ciências sociais. O objetivo da sociobiologia wilsoniana é dar continuidade à “revolução darwiniana”, colocando o pensamento biológico no centro das ciências sociais.

Se, conforme nos mostra Donald Levine, cada disciplina tem uma história, uma comunidade com uma identidade que fornece os princípios em torno dos quais ela se organiza, é impossível não haver conflitos na compatibilização dos diferentes interesses disciplinares em torno de um novo campo disciplinar que pretende unificar as ciências naturais e as sociais tendo como referencial a biologia evolutiva.

A sociobiologia pretende compartilhar territórios disciplinares e redefinir alguns domínios. Para alguns biólogos e cientistas sociais,<sup>10</sup> os sociobiólogos pretendem abarcar o território das ciências sociais sob o império de uma biologia comportamental. Para sociobiólogos e etologistas, a resistência dos cientistas sociais caracteriza-se como uma defesa territorial de quem não admite que o comportamento social humano tem também fundamentos biológicos.<sup>11</sup>

<sup>8</sup> Marcel Blanc sugere-nos que as razões que explicam a adesão dos biólogos franceses ao lamarckismo e dos anglo-americanos ao darwinismo devem ser procuradas nas influências culturais exteriores à ciência. Eis uma tarefa para a sociologia da ciência.

<sup>9</sup> O termo é de Morin. É importante a compreensão das implicações, para as ciências sociais, do que ele chama de revelações ecológica, biossociológica e etológica (Morin, 1975).

<sup>10</sup> Sahlins (1977), Bock (1982), Lewontin (1984) e Gould (1993).

<sup>11</sup> Wilson (1981), Barash (1977).

## **A SOCIOBIOLOGIA E A EMERGÊNCIA DE UMA SOCIOLOGIA COMPARADA**

A sociobiologia, utilizando-se de dados da etologia e vice-versa, tem-nos mostrado que não devemos conceber os agrupamentos de animais como simples agregados, cujos comportamentos são comandados ora por reações automáticas ou reflexos, ora por impulsos automáticos e “instintos”. Edgar Morin e Serge Moscovici, analisando os estudos sobre primatas, concluíram que o comportamento animal é organizado e organizador e que as noções de comunicação e terri-

tório entre os animais nos apresentam associações, isto é, sociedades. Portanto, a comunicação, os símbolos e os ritos não são exclusividades humanas, mas têm raízes vindas de longe na evolução das espécies.

É tendo consciência das implicações dessas “revelações” que Morin afirma que a sociologia animal emerge na periferia da etologia. A noção de sociologia geral muda de sentido: “Já não se trata de idéias gerais sobre a sociedade humana, mas do contexto geral em que se inscreve todo o fenômeno social, animal e humano. Mas não se trata de reduzir a sociologia humana a essa sociologia geral” (Morin, 1984: 78).

Castoriadis (1987), Dumont (1992 e 1993), Morin (1984) e Aron (1986), para citar apenas alguns contemporâneos, alertaram-nos para os problemas contidos na noção de sociedade. Aron, por exemplo, disse certa vez: “Com efeito, o nome sociedade não deixa de ser um equívoco, pois tanto designa as coletividades reais quanto a idéia ou o ideal dessas coletividades” (Aron,

1986: 130). Talvez, a mudança de sentido na noção de sociologia geral também nos possa ajudar no enriquecimento da noção de sociedade.

O sociólogo Pierre Van Den Berghe, desde meados da década de 1970, vem chamando atenção para a importância de uma perspectiva biossocial para as ciências sociais. Segundo ele, uma das grandes forças da sociobiologia é que ela traz a história e a dinâmica de volta às ciências sociais. Outra é que ela explode a falsa dicotomia entre ordem e conflito e propõe-se a explicá-la dentro de um mesmo paradigma (Van Den Berghe, 1986: 1463).

A sociobiologia convida-nos a retomar o projeto de Radcliffe-Brown de uma sociologia comparada. Só que num sentido mais amplo: teremos de atingir o seu fundo biológico, pois, conforme nos mostra a sociobiologia, os homens não inventaram a sociedade: só inventaram a sociedade humana.

Considerar, à luz de uma sociologia comparada, essa perspectiva evolutiva não significa tomar a

---

Conforme nos mostra a  
sociobiologia, os homens  
não inventaram a  
sociedade: só inventaram a  
sociedade humana

sociedade humana pela animal ou vice-versa. Como bem ponderou Morin (1984: 57),

é preciso situar as sociedades humanas em relação e em oposição às sociedades animais. Herdamos das sociedades de mamíferos e primatas as estratificações e oposições de classes biossociais (idade, sexo), o modo de interação antagonista/fraternitário.

mas há também uma dimensão da sociedade humana que transcende essa herança e que constitui a sua originalidade.

Os abalos que essas idéias produzem na sociologia humana agora começam a ser sentidos. Talvez porque somente agora essas idéias podem ser conhecidas sem a virulência ideológica que permeou sua apresentação. Como bem disse Bruno Latour, a sociobiologia “segue o movimento inverso daquele pelo qual a extrema-direita procurou utilizá-la: ela faz de nossa biologia o resultado de uma longa história social” (Latour, 1995: 208).

### **CIÊNCIA, AUTONOMIA E SOCIEDADE**

O problema das possibilidades de autonomia do conhecimento é crucial para pensarmos, à luz de uma sociologia da ciência e do conhecimento, as condições de emergência da crítica livre, da objetividade, da racionalidade, sem esquecer que há outras variáveis que condicionam a busca da verdade do conhecimento.

A leitura ideológica da ciência não é apenas limitada, é fundamentalmente equivocada, pois desvia o debate daquilo que é singular à ciência: a avaliação da validade do poder explicativo de uma teoria.

Qualquer idéia ou teoria científica contém múltiplas concepções de homem, natureza e sociedade,

dependentes das interpretações que delas se façam. Não distinguir os fundamentos sociopolíticos de suas implicações sociopolíticas, como fazem Lewontin, Rose e Kamin, por exemplo, é não discernir entre o contexto sócio-histórico dentro do qual um determinado conhecimento científico se desenvolve e sua influência sobre a cultura e a sociedade.

Querer reduzir a interpretação dos fundamentos sociopolíticos de uma macroteoria como a sociobiológica à dicotomia revolucionários/reacionários é desconhecer as outras esferas da vida social que compõem o que chamamos de contexto sociocultural no qual a ciência se desenvolve. Todas as culturas e as sociedades estão impregnadas de polaridades e antagonismos, como, por exemplo, conservadores/reformadores; juventude/velhice; ordem/liberdade; católicos/protestantes. Como disse Edgar Morin,

Os homens de uma cultura, pelo seu modo de conhecimento, produzem a cultura, que produz o seu modo de conhecimento. A cultura gera os conhecimentos que regeneram a cultura. O conhecimento depende de múltiplas condições socioculturais, e, em retorno, condiciona essas condições (Morin, 1991: 21).

Outro problema sério dessa leitura ideológica de Lewontin, Rose e Kamin é não conseguir distinguir atividade científica de atividade política.

Há na sociobiologia uma certa tentativa em propor o método científico como ideal societário. Isso é tão equivocado quanto querer validar a ciência a partir de ideais políticos, como fazem Lewontin, Rose e Kamin.

O método científico é inadequado para a política e vice-versa.

valores

Na política são os valores e não os fatos que estão em conflito. A conduta científica constitui um código limitado para ser proposto como um ideal societário. E a política, como bem já mostrou Max Weber, trabalha com valores de uma maneira que não é compatível com o *ethos* científico.

Se por um lado sociobiólogos têm feito declarações políticas conservadoras e desavisadas, algumas decorrentes de simplificações que resultam da extensão das análises de comportamentos de outras espécies animais ao comportamento humano, por outro, o crescente prestígio da abordagem sociobiológica tem provocado transformações nas ciências sociais. Na antropologia, por exemplo: a antropologia social reaproximou-se da antropologia física, voltando assim à sua vocação

inicial. Isso num momento em que o velho mapa das ciências sociais passa por profundas reconfigurações e a busca pela interdisciplinaridade coloca-se na ordem do dia. Nesse sentido, o esforço sociobiológico para construir pontes entre as ciências sociais e as ciências naturais pode constituir-se num exercício teórico-metodológico proífico.

A sociobiologia, além de superar os *pré-conceitos* políticos, os seus, decorrentes de uma descuidada sociologia comparativa, e outros, como os que já mencionamos, deve esforçar-se para mostrar às ciências sociais que o dado biológico não é uma constante, como a maioria dos cientistas sociais imagina, e que, como bem disse Van Den Berghe, a biologia é tão destina quanto a história o é. \*

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos professores Waldenor Barbosa da Cruz, Maria Lúcia Maciel, Michelângelo Trigueiro e Fernando Sobral pela leitura do artigo e pelas sugestões. Os problemas contidos no texto, contudo, são de minha inteira responsabilidade.

## André Luís Ribeiro Ferreira

Professor de Sociologia da Universidade Federal de Mato Grosso. Doutorando em Sociologia da Ciência e Tecnologia pelo Departamento de Sociologia da Universidade de Brasília.

## referências bibliográficas

- ARAÚJO, Jorge Maria M. 1994. *Da epistemologia à biologia*. Lisboa: Instituto Piaget.
- ARON, Raymond. 1986. *Memórias*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- BARASH, David. 1977. *Sociobiology and behavior*. Nova York/Oxford/Ams-terdam: Elsevier.
- BLANC, Marcel. 1994. *Os herdeiros de Darwin*. Rio de Janeiro: Página Aberta.
- BOCK, K. 1982. *Natureza humana e história – uma réplica à sociobiologia*. Rio de Janeiro: Zahar.
- BROCKMAN, John. 1998. "Sociobiologia e o gene egoísta". *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankstein*. São Paulo: Cia das Letras.
- CASTORIADIS, Cornelius. 1997. *As encruzilhadas do labirinto*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- DESMOND, Adrian, MOORE, James. 1995. *Darwin – a vida de um evolucionista atormentado*. São Paulo: Geração Editorial.
- DOGAN, M. "Fragmentação das ciências sociais e recombinação de especialidades em torno da sociologia". *Revista Sociedade e Estado*, vol. XI, nº 1, jan./jun., 1996.
- DUMONT, Louis. 1993. *O individualismo*. Rio de Janeiro: Rocco.
- \_\_\_\_\_. 1992. *Homo hierarchicus*. São Paulo: Edusp.
- EIBL-EIBESFELDT, Irenäus. 1997. *Amor e ódio*. Lisboa: Livraria Bertrand.
- ELSTER, Jon. 1994. *Peças e engrenagens das ciências sociais*. Rio de Janeiro: Relume-Dumará.
- GOULD, Stephen Jay. 1987. *Darwin e os grandes enigmas da vida*. São Paulo: Martins Fontes.
- \_\_\_\_\_. 1993. *Um ouriço na tempestade*. Lisboa: Relógio D'água.
- JACOB, François. 1998. *O rato, a mosca e o homem*. São Paulo: Cia das Letras.
- KNELLER, George. 1980. *A ciência como atividade humana*. Rio de Janeiro: Edusp/Zahar.
- KUHN, Thomas. 1987. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- LATOUR, Bruno. 1995. "Das sociedades animais às sociedades humanas".



- WITKOWSKI, Nicolas (coord.). **Ciência e tecnologia Hoje**. São Paulo: Ensaio.
- LEVINE, Donald. 1997. **Visões da tradição sociológica**. Rio de Janeiro: Zahar.
- LEWONTIN, Richard. 1980. "El problema del Lysenkoísmo". Em ROSE, Steven, ROSE, Hilary, **La radicalización de la ciencia**. México DF: Editorial Nueva Imagen.
- \_\_\_\_\_. "A sociobiologia: pros e contras". 1987. **O indivíduo – entrevistas do Le Monde**. São Paulo: Ática.
- LEWONTIN, Richard, ROSE, Steven, KAMIN, Leon. 1987. **Genética e política**. Portugal: Europa-América.
- LORENZ, Konrad. 1995. **Os fundamentos da etologia**. São Paulo: Unesp.
- LYSENKO, Trofim. **A herança e sua variabilidade**. Porto Alegre: Editorial Vitória, s/data.
- MORIN, Edgar. 1984. **Sociologia**. Portugal: Europa-América.
- \_\_\_\_\_. 1991. **O Método IV**. Portugal: Europa-América.
- \_\_\_\_\_. 1995. **O enigma do homem**. Rio de Janeiro: Zahar.
- MOSCOVICI, Serge. 1975. **Sociedade contra natureza**. Petrópolis: Vozes.
- ROSE, Steven. "A perturbadora ascensão do determinismo neurogenético". **Ciência Hoje**, vol. 21, nº 126, jan./fev. 1997.
- ROUANET, Sérgio P. 1987. **As razões do Iluminismo**. São Paulo: Cia das Letras.
- RUSE, Michael. 1983. **Sociobiologia: senso ou contra-senso?** São Paulo: Edusp.
- \_\_\_\_\_. 1995. **Levando Darwin a sério**. Belo Horizonte: Itatiaia.
- SACARRÃO, G. 1989. **Biologia e sociedade**, vols. I e II. Portugal: Europa-América.
- SAHLINS, M. 1977. **The use and abuse of biology**. Londres: Tavistock Publications.
- SANTOS, Boaventura S. 1989. **Introdução a uma ciência pós-moderna**. Rio de Janeiro: Graal.
- TOULMIN, Stephen. 1979. "É adequada a distinção entre ciência normal e ciência revolucionária?". Em LAKATOS, I, MUSGRAVE, A. 1979. **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Cultrix.
- VAN DEN BERGHE, Pierre. 1986. "Culture and the evolutionary process by Robert Boyd and Peter Richirson". Book reviews. **American Journal of Sociology**, p. 1.463, maio.
- WEBER, Max. 1982. "A objetividade do conhecimento nas ciências sociais". Em COHN, Gabriel. **Weber**. São Paulo: Ática.
- WILSON, Edward. 1980. **Sociobiology: the new synthesis**. Massachusetts: Harvard University Press.
- \_\_\_\_\_. 1981. **Da natureza humana**. São Paulo: Edusp.
- \_\_\_\_\_. 1997. **Naturalista**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- WRIGHT, Robert. 1996. **O animal moral**. Rio de Janeiro: Campus.

OS LIMITES DA

# ETÍCA

E DA

# MORAL

NA PESQUISA CIENTÍFICA



Carlos Magno

**Volnei Garrafa**

**O**s avanços alcançados pelo desenvolvimento científico e tecnológico nos campos da biologia e da saúde, principalmente nos últimos trinta anos, têm colocado a humanidade diante de situações até pouco tempo inimagináveis. São praticamente diárias as notícias provenientes das mais diferentes partes do mundo relatando a utilização de novos métodos investigativos e/ou de técnicas desconhecidas, a descoberta de medicamentos mais eficazes, o controle de doenças tidas até agora como fora de controle. Se por um lado todas essas conquistas trazem na sua esteira renovadas esperanças de melhoria da qualidade de vida, por outro criam uma série de contradições que necessitam ser analisadas responsabilmente, objetivando o equilíbrio e o bem-estar futuro da espécie humana e da própria vida no planeta.

Hans Jonas (1) foi um dos autores que se debruçaram com mais propriedade sobre esse tema, ressaltando a impotência da ética e da filosofia contemporâneas diante do homem tecnológico, que possui tantos poderes não só para desorganizar, como também para mudar radicalmente os fundamentos da vida, criar e destruir a si

mesmo. Ao mesmo tempo que gera novos seres humanos pelo domínio das complexas técnicas de fecundação assistida, agride diariamente o meio ambiente, do qual depende a manutenção futura da espécie. O surgimento de novas doenças infectocontagiosas e de diversos tipos de câncer, assim como a destruição da camada de ozônio, a devastação de florestas e a persistência de velhos problemas relacionados com a saúde dos trabalhadores (como a silicose) são “invenções” desse mesmo “homem tecnológico”, que oscila suas ações entre a criação de novos benefícios extraordinários e a insólita destruição de si mesmo e da natureza.

Ao contrário do que muitos pensam, a atual pauta bioética internacional não diz respeito somente às *situações emergentes* proporcionadas por avanços como aqueles alcançados no campo da engenharia genética e seus desdobramentos (projeto genoma huma-

no, clonagem, etc.), mas também às *situações persistentes*, relacionadas principalmente com a falta de universalidade no acesso das pessoas aos bens de consumo sanitário e à utilização equânime desses benefícios por todos os cidadãos, indistintamente (2).

Considerando essas duas situações, portanto, a humanidade vê-se atualmente às voltas não apenas com alguns velhos dilemas éticos que persistem teimosamente desde a Antiguidade, como também com os novos conflitos decorrentes da marcha acelerada do progresso. Juntamente com seus inquestionáveis benefícios, a biotecnociência, para utilizar um neologismo proposto por Schramm (3), pode, contraditoriamente, proporcionar a ampliação dos problemas de exclusão social hoje constatados. Como impedir, por exemplo, que os conhecimentos recentemente alcançados sobre as probabilidades de uma pessoa vir a desenvolver

O homem tecnológico, ao mesmo tempo que gera novos seres humanos pelo domínio das complexas técnicas de fecundação assistida, agride diariamente o meio ambiente, do qual depende a manutenção futura da espécie

determinada doença no futuro em razão de uma falha em seu código genético (como nos casos da doença de Huntington) não sejam transformados em novas formas de discriminação por parte das companhias seguradoras responsáveis pelos chamados “planos de saúde”? (4).

Tudo isso se torna mais dramático quando se sabe que o perfil populacional mundial tem sofrido transformações profundas a partir da elevação da esperança de vida quando do nascimento das pessoas (em anos), aliada ao fenômeno da globalização econômica que produz uma crescente e insólita concentração da renda mundial nas mãos de poucas nações, empresas e pessoas privilegiadas. Dentro desse complexo contexto, merecem menção, ainda, o aumento dos custos sanitários por meio da criação e da expansão de tecnologias de ponta que possibilitam novas formas de diagnóstico e de tratamento, o recrudescimento de algumas doenças que já estiveram sob controle (como tuberculose, febre amarela, dengue, malária e outras) e o surgimento de novas enfermidades (como a Aids).

Segundo o presidente da International Association of Bioethics, Alastair Campbell, em visita que fez ao Brasil em 1998, “o maior desafio para a bioética será encontrar

uma forma mais adequada de justa distribuição de recursos de saúde, numa situação crescente de competitividade”. Para ele, é indispensável fugirmos do debate reducionista voltado exclusivamente para os direitos individuais, preocupando-nos, além do problema mais básico da exclusão social aos novos benefícios, com o resgate de conceitos mais abrangentes relacionados à “dignidade da vida humana, sua duração ao valor da diversidade na sociedade humana e, especialmente, à necessidade de se evitar formas de determinismo genético...” (5).

#### MORAL, ÉTICA E PESQUISA CIENTÍFICA

Alguns dos principais bioeticistas que se têm dedicado a estudar a ética e a moral, bem como suas relações com situações que envolvem a vida no planeta, de uma forma geral, procuram considerá-las como sinônimos (6, 7, 8). Mesmo assim, nas disciplinas e nos cursos de bioética que venho ministrando na Universidade de Brasília e em outras universidades, desde 1994, tenho utilizado, para fins didáticos, alguns parâmetros diferenciais entre as duas. Essa diferenciação tem-se revelado útil no sentido de uma melhor compreensão de alguns temas mais conflitivos e fronteiriços da análise bioética, principalmente quando os interlocutores são alunos dos cursos de graduação.

Assim sendo, é inicialmente indispensável comentar que o termo *ética* vem do grego *ethos* e quer dizer “modo de ser” ou “caráter”, no sentido similar ao do “forma(s) de vida(s) adquirida(s) pelo homem”. A palavra *moral*, por sua vez, deriva etimologicamente do latim *mos* ou *mores* (“costume” ou “costumes”)

e quer dizer “alguma coisa que seja habitual para um povo”. Ambas, portanto, têm significado similar. Contudo, foi a partir do latim que se estabeleceram as bases do “direito romano”. Na Roma Antiga é que se criou, historicamente, o que se entende hoje por *justiça*, no seu sentido formal, por meio de *leis* que foram sendo adaptadas durante os séculos subsequentes e que até os dias atuais estabelecem as diferentes formas de relação e regem os destinos de pessoas, povos e nações.

Como os romanos não encontraram uma tradução que lhes fosse inteiramente satisfatória para o *ethos*, passaram a utilizar de forma generalizada o *mores*, que em português é traduzido por *moral*. Dessa forma, a “boa” ou “correta” normatização passou a ser entendida como aquela legislação que interpretasse e manifestasse as situações concretas que aconteciam, do modo mais aproximado aos

costumes ou às formas habituais de os cidadãos e as comunidades procederem nas suas vidas sociais quotidianas.

Em resumo, se por um lado o significado etimológico de ética e moral é similar, por outro, existe uma diferença historicamente determinada entre ambas. Como vimos anteriormente, a moral romana é uma espécie de tradução latina de ética, mas que acabou adquirindo uma conotação formal e imperativa que direciona ao aspecto jurídico e não ao natural, a partir da antiga polarização secularmente verificada, e especialmente forte naquela época, entre o “bem” e o “mal”, o “certo” e o “errado”, o “justo” e o “injusto” (9). Para os gregos, o *ethos* indicava o conjunto de comportamentos e hábitos constitutivos de uma verdadeira “segunda natureza” do homem. Na *Ética a Nicômacos*, Aristóteles interpretava a ética como a reflexão filosófica sobre o agir humano e suas finalidades (10). E foi a partir da interpretação aristotélica que a ética passou posteriormente a ser referida como uma espécie de “ciência” da moral. Na prática, no entanto, a discussão persiste até hoje. Os códigos de ética profissional, por exemplo, consistem em manifestações maniqueístas e formais (e muito bem estruturadas, sob o ponto de vista corporativo...) daquilo que os romanos entendiam por moral. As legislações, de modo geral, também obedecem a conotação semelhante.

Dentre as muitas discussões encontradas na literatura sobre as diferenças ou as semelhanças entre moral e ética, merecem destaque as posições de Joseph Fletcher, de acordo com o qual não deveríamos sentir-nos obrigados por qualquer regra moral intangível: só o con-

texto e as conseqüências úteis ou prejudiciais das nossas escolhas deveriam determinar-nos (11). Segundo Lucien Sève (11), numerosos médicos apoiaram Fletcher, tomando “a defesa deste repúdio dos absolutos morais em defesa de um *contextualismo* de espírito utilitarista, a partir da expressão *ética de situações*”. Assim, estabeleceu-se uma distinção, que passou a ser corrente em alguns meios, entre moral e ética, que recobre o conflito entre a exigibilidade das condutas prescritas por *normas universais* e a flexibilidade das decisões adequadas em *cada caso singular*.

Transportando o foco da discussão para o tema das investigações científicas, que é o objeto do nosso assunto, é indispensável assinalar que as regras e as leis que dispõem sobre o desenvolvimento científico e tecnológico devem ser cuidadosamente elaboradas para, por um lado, prevenir abusos, e, pelo outro, evitar limitações e proibições descabidas. Segundo o filósofo italiano Eugenio Lecaldano (12), “existe um núcleo de questões que precisam ser reconduzidas dentro de regras de caráter moral, e não sancionadas juridicamente”; e um outro, “no qual estas questões devam ser rigidamente sancionadas e, portanto, codificadas”. O primeiro aspecto refere-se ao pluralismo, à tolerância e à solidariedade, prevalecendo a idéia de *legitimidade* (moral). O segundo diz mais respeito ao direito formal e à justiça, em que prevalece a idéia de *legalidade* (ética). Dessa forma, dentro do pluralismo moral constatado nos dias atuais, parece-nos preferível confiar mais no transculturalismo (nas singularidades culturais e nas diferenças de moralidades verificadas entre pessoas e povos) do que em certas

“verdades universais” e normas jurídicas inflexíveis.

Vou ilustrar a diferenciação que percebo entre ética e moral com um exemplo situado na zona de limites para a tomada de decisões. Uma menina de rua com apenas doze anos de idade, sem família, prostituta desde os oito anos, natural de grande capital de uma região pobre do Brasil, procura um médico para auxiliá-la na realização de um aborto. Um detalhe: a menina é HIV positiva. Apesar de ser católico e saber que no Brasil o aborto, nesses casos, é proibido, o médico decide efetivar o ato, dizendo, nesse caso, estar tranquilo por não ter pecado contra seu Deus nem infringido o código de ética médica ou a legislação do país. Essa situação pode ser caracterizada entre aquelas que Adela Cortina denomina de “ética sem moral” (13). Ou seja, apesar de existir formalmente uma transgressão *legal* (ética), pela infração aos mandamentos católicos, ao código profissional e à legislação brasileira, o médico tomou partido por uma decisão *legítima* pautada na sua própria moralidade, que o impediu de deixar uma situação de limites como essa seguir adiante. Nesse caso, a essência da discussão não

deve incidir na decisão específica e individual do médico, mas na análise mais globalizada da ética da responsabilidade pública do Estado com relação à sociedade que o mantém e a quadros dramáticos de inadmissível abandono e injustiça social.

#### **A MANIPULAÇÃO DA VIDA E O TEMA DOS “LIMITES”**

A questão da “manipulação da vida” pode ser contemplada a partir de variados ângulos: biotecnológico, político, econômico, social, jurídico, moral... Em respeito à liberdade individual e coletiva conquistada pela humanidade através dos tempos, a pluralidade constatada neste final do século XX requer que o estudo bioético do assunto contemple, na medida do possível e de forma multidisciplinar, todas essas possibilidades.

Com relação à vida futura do planeta, não deverão ser regras rígidas ou “limites” exatos que estabelecerão até onde o ser humano poderá ou deverá chegar. Para justificar essa posição, vale a pena levar

em consideração alguns argumentos de Morin sobre os sistemas dinâmicos complexos. Para ele, o paradigma clássico baseado na suposição de que a complexidade do mundo dos fenômenos devia ser resolvida a partir de princípios simples e leis gerais não é mais suficiente para considerar, por exemplo, a complexidade da partícula subatômica, a realidade cósmica ou os progressos técnicos e científicos da área biológica (14). Enquanto a ciência clássica dissolvia a complexidade aparente dos fenômenos e se fixava na simplicidade das leis imutáveis da natureza, o pensamento complexo surgiu para enfrentar a complexidade do real, confrontando-se com os paradoxos da ordem e da desordem, do singular e do geral, da parte e do todo. De certa forma, incorpora o acaso e o particular como componentes da análise científica e coloca-se diante do tempo e dos fenômenos.

Segundo Hans Jonas, o tema da “liberdade da ciência” ocupa posição única no contexto da humanidade, não limitada pelo possível

---

**Com relação à vida futura do planeta, não deverão ser regras rígidas ou “limites” exatos que estabelecerão até onde o ser humano poderá ou deverá chegar**

# Diversos setores da sociedade, principalmente aqueles religiosos e mais dogmáticos, têm traçado uma visão perturbadora, pessimista e apocalíptica da relação entre a ciência e a vida humana neste final de século

mais amplos que, sem serem quantitativos ou “limítrofes” na sua essência, possam proporcionar contribuições conceituais e também práticas no que se refere ao respeito ao equilíbrio multicultural e ao bem-estar futuro da espécie. Nesse sentido, parece-nos indispensável agregar à discussão alguns temas que tangenciam as fronteiras do desenvolvimento, sem limitá-lo: a pluralidade e a tolerância, a participação e a responsabilidade, a equidade e a justiça distributiva dos benefícios (17, 18).

Diversos setores da sociedade, principalmente aqueles religiosos e mais dogmáticos, têm traçado uma visão perturbadora, pessimista e apocalíptica da relação entre a

conflito com outros direitos (15). Para ele, no entanto, o observador mais atento percebe uma contradição secreta entre as duas metades dessa afirmação, porque a posição especial alcançada no mundo graças à liberdade da ciência significa uma posição exterior de poder e de posse, enquanto a pretensão de incondicionalidade da liberdade da investigação tem de apoiar-se precisamente em que a atividade de investigar, juntamente com o conhecimento, esteja separada da esfera da ação. Porque, naturalmente, na hora da ação, toda liberdade tem suas barreiras na responsabilidade, nas leis e nas considerações sociais. De qualquer maneira, ainda de acordo com Jonas, sendo útil ou inútil, a liberdade da ciência é um direito supremo em si, inclusive uma obrigação, estando livre de toda e qualquer barreira.

Abordando o tema da “ética para a era tecnológica”, Casals diz que “trata-se de atingir o equilíbrio entre o extremo poder da tecnologia e a consciência de cada um, bem

como da sociedade em seu conjunto: ‘Os avanços tecnológicos remetem-nos sempre à responsabilidade individual, bem como ao questionamento ético dos envolvidos no debate, especialmente aqueles que protagonizam as tomadas de decisões’” (16).

De acordo com o que já foi colocado anteriormente, para as pessoas que defendem o desenvolvimento livre da ciência, embora de forma responsável e participativa, é difícil conviver pacificamente com expressões que estabeleçam ou signifiquem “limites” para a mesma. O tema, contudo, é de difícil abordagem e solução. Por isso, enquanto não encontrar uma expressão (ou iluminação moral suficiente...) que seja mais adequada às minhas exatas intenções, prefiro utilizar a palavra “limites” entre aspas, procurando, com esse artifício, certamente frágil, expressar minha dificuldade, sem abdicar de minhas posições.

Assim sendo, é necessário que se passe a discutir sobre princípios



Carlos Magno

ciência e a vida humana neste final de século. Um dos documentos mais respeitáveis surgidos nos últimos anos e que contempla a discussão bioética – a encíclica *Evangelium Vitae*, do papa João Paulo II – desenvolve essa linha de pensamento (19). A relação de temas abordados pela encíclica papal abrange tudo aquilo que se opõe de forma direta à vida, como a fome e as doenças endêmicas, guerras, homicídios, genocídios, aborto, eutanásia; tudo aquilo que viole a integridade da pessoa, como mutilações e torturas; tudo aquilo que ofenda à dignidade humana, como condições subumanas de vida, prisões arbitrárias, escravidão, deportação, prostituição, tráfico de mulheres e menores, condições indignas de trabalho. A partir dessa realidade incontestável, o papa chega a definir o século XX como uma época de ataques massivos contra a vida, como o reino do culto à morte. A veracidade desses fatos, no entanto, é maculada pela unilateralidade do julgamento sobre o presente e pela escuridão apontada para o futuro.

A insistência nos aspectos negativos da realidade obstaculiza uma visão mais precisa e articulada deste século. Sem cair na posição oposta, deve-se reconhecer que o século XX, apesar das guerras e dos crimes e de estar se encaminhando para seu final em clima de incerteza, foi também o século da vida. Foi o século no qual se aprofundou o conhecimento científico sobre a própria vida que, sem dúvida, melhorou em termos de qualidade para a maioria da espécie humana. Foi o século no qual, pela primeira vez na história, a duração média da vida aproximou-se aos anos indicados como destino “normal” da nossa espécie; no qual a

saúde dos trabalhadores foi defendida e sua dignidade reconhecida em muitos países; em que vimos emergir os direitos vitais, jurídicos e culturais das mulheres, que nos séculos anteriores foram sempre desprezados; em que existiu uma substancial valorização do corpo; em que as ciências biológicas e a medicina chegaram a descobertas fantásticas, beneficiando indivíduos e populações. O grande desafio de hoje, portanto, é construir o processo de *inclusão* de todas as pessoas e povos como beneficiários desse progresso.

A força da ciência e da técnica está, exatamente, em apresentar-se como uma lógica utópica de libertação, que pode levar-nos a

sonhar com o futuro, inclusive com a imortalidade. Tudo isso deveria, pois, desaconselhar as tentativas de impor uma ética autoritária, alheia ao progresso técnico-científico. Deveria, além disso, induzir-nos a evitar formulações de regras jurídicas estabelecidas sobre proibições. É preferível que os vínculos e os “limites” das leis sejam declinados positivamente e que seja estimulada uma moral autógena, não imposta, mas inerente. Em outras palavras, é necessário que entre os sujeitos ético-jurídicos não seja desprezada a contribuição daqueles que vivem a dinâmica própria da ciência e da técnica (os cientistas), sem chegar todavia a delegar somente a estas decisões que dizem respeito a todos.

Nesse sentido, é necessário que ocorram mudanças nos antigos paradigmas biotecnocientíficos, o que não significa obrigatoriamente a dissolução dos valores já existentes, mas sua transformação: deve-se avançar de uma ciência eticamente livre para outra eticamente

# MORAL

responsável; de uma tecnocracia que domine o homem para uma tecnologia a serviço da humanidade, da própria espécie,... de uma democracia jurídico-formal a uma democracia real, que concilie liberdade e justiça (20). Trata-se, portanto, de estimular o desenvolvimento da ciência dentro das suas fronteiras humanas, e, ao mesmo tempo, de desestimulá-la quando esta passa a avançar na direção de “limites” desumanos.

#### **“ENDEUSAMENTO” VERSUS “DEMONIZAÇÃO” DA CIÊNCIA**

Com relação às ciências biomédicas, as reflexões morais emanadas de diferentes setores da sociedade mostram hoje duas tendências antagônicas. De um lado existe uma radical *bioética racional e justificativa*, pela qual “tudo aquilo que pode ser feito, deve ser feito”. No extremo oposto, cresce uma *tendência conservadora* baseada no medo de que nosso futuro seja invadido por tecnologias ameaçadoras, levando seus defensores à procura de um culpado, erroneamente identificado na matriz das novas técnicas, na própria ciência. Nesse quadro complexo, a bioética pode vir a ser

usada por alguns como instrumento para afirmar doutrinas anticientíficas e, por outros, ser considerada como um obstáculo impertinente ao trabalho dos cientistas e ao desenvolvimento bioindustrial; ou ainda, como um instrumento para negar o valor da ciência (ou como validação de posições anticientíficas) ou então para justificá-la a qualquer custo (21).

Orientar-se entre essas duas teses opostas não é tarefa fácil. A novidade e a complexidade são características inerentes à maioria dos temas bioéticos atuais, dos transplantes às pesquisas com seres humanos e animais, do projeto genoma à reprodução assistida. Sobre muitos desses problemas, ainda não foram formuladas regulamentações que em outros campos e em épocas passadas conduziram a comportamentos mais ou menos homogêneos e se constituíram no fundamento de leis cujo objetivo, mais do que evitar ou punir qualquer conduta censurável, era o de manter um certo equilíbrio na sociedade. Nos dias atuais, o desenvolvimento da ciência está sujeito a choques com diversas doutrinas e crenças existentes, ao

mesmo tempo em que as opiniões pessoais também oscilam entre sentimentos e orientações diversas. Por outro lado, linhas de pesquisa alargar-se-ão no futuro, alcançando resultados ainda imprevisíveis, enquanto diversos conhecimentos já adquiridos (como a clonagem) estão hoje apenas na fase inicial de sua aplicação prática.

De acordo com essa ordem polarizada de coisas, o mundo moderno poderá desaguar em uma crescente “confusão diabólica”, ou na resolução de todos os problemas da espécie humana por meio do progresso científico. As duas hipóteses incorrem no risco de alimentar, na esfera cultural, o dogmatismo, e, na esfera prática, a passividade. Se por um lado são inúmeros os caminhos a serem escolhidos para que a Terra se transforme num verdadeiro inferno, são também infinitas as possibilidades de utilização positiva das descobertas científicas. O embate entre valores e interesses sobre cada uma das opções é um dado real, inextinguível e construtivo sob muitos aspectos. A adoção de normas e comportamentos moralmente aceitáveis e praticamente úteis requer,

**Se por um lado são inúmeros os caminhos a serem escolhidos para que a Terra se transforme num verdadeiro inferno, são também infinitas as possibilidades de utilização positiva das descobertas científicas**

por todas as razões já expostas, tanto o confronto quanto a convergência das várias tendências e exigências (22).

**PLURALIDADE E TOLERÂNCIA,  
PARTICIPAÇÃO E RESPONSABILIDADE,  
EQÜIDADE E JUSTIÇA DISTRIBUTIVA**

Enfim, toda essa desorganização de idéias e práticas compromete diretamente a própria espécie humana, que se tornou interdependente em relação aos fatos, ainda que por sorte se mantenha diversificada em termos de história, leis e cultura. A relação entre interdependência, diversidade e liberdade poderá tornar-se um fator positivo somente no caso de as escolhas práticas e as orientações bioéticas terem reforçadas suas tendências ao *pluralismo* e à *tolerância*.

A intolerância e a unilateralidade, porém, são fenômenos frequentes tanto nos comportamentos relacionados às situações persistentes quanto nas atitudes que se referem aos problemas emergentes surgidos mais recentemente e que crescem todos os dias. Quanto aos *comportamentos*, no que se refere aos problemas persistentes, pode-se citar, por exemplo, o ressurgimento

do racismo na Europa e em outras partes do mundo e cujas bases culturais estão exatamente em negar o fato de que as etnias pertencem ao domínio comum da espécie humana e em confundir o conceito de diferença com o de inferioridade. Para as *atitudes* com relação aos problemas “emergentes”, pode-se recordar a decisão do presidente norte-americano Bill Clinton de proibir as pesquisas de clonagem com seres humanos e cortar todo possível auxílio governamental para as mesmas, contrariando as sugestões de uma comissão nacional de bioética por ele convocada.

O desenvolvimento da ciência pode percorrer caminhos diversos, utilizar diferentes métodos. O conhecimento é por si só um valor, mas a decisão sobre quais conhecimentos a sociedade ou os cientistas devem concentrar seus esforços implica a consideração de outros valores. Da mesma forma, não se pode deixar de considerar o papel do cientista ou da atividade que ele exerce. Sua responsabilidade ética deve ser avaliada não só pelo exercício das suas pesquisas em si, mas, principalmente, pelas conseqüências sociais decorrentes das mesmas. Enquanto a ciência, não sendo ideológica por sua estrutura, pode estar a serviço ou dos fins mais nobres ou dos mais prejudiciais para o gênero humano, o cientista não pode permanecer indiferente aos desdobramentos sociais do seu trabalho. Se a ciência como tal não pode ser ética ou moralmente qualificada, podem sê-lo, no entanto, a utilização que dela se faça, os interesses a que serve e as conseqüências sociais da sua aplicação. Está ainda inserido nessa pauta o tema da democratização do acesso a todas as



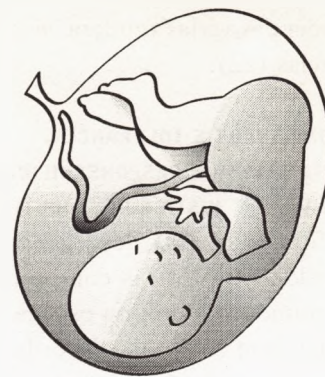
RESPO LIDADE

o difícil problema de um progresso biotecnocientífico que reduz o cidadão a súdito em vez de emancipá-lo. O súdito é o vassalo, aquele que está sempre sob as ordens e as vontades de outros, seja do rei, seja dos seus opositores. Essa peculiaridade é absolutamente indesejável em um processo no qual se pretende que a participação consciente da sociedade mundial adquira um papel de relevo. A ética é um dos melhores antídotos contra qualquer forma de autoritarismo e de tentativas espúrias de manipulações.

peçoas, indistinta e equânime-mente, aos benefícios do desenvolvimento científico e tecnológico (às descobertas), uma vez que a espécie humana é o único e real sentido e meta para esse mesmo desenvolvimento.

Dentro ainda do tema da democracia e do desenvolvimento da ciência, não se pode deixar de abordar a questão do *controle social* sobre qualquer atividade que seja de interesse coletivo e/ou público. Mesmo em temas complexos como o projeto genoma humano ou a doação e os transplantes de órgãos e tecidos humanos, a pluriparticipação é indispensável para a garantia de que os direitos humanos e a cidadania sejam respeitados. O controle social, por meio do pluralismo participativo, deverá prevenir

Ainda no que diz respeito à tolerância, Mary Warnock destacou o princípio segundo o qual a única razão válida para não se tolerar um comportamento é que este cause danos a outras pessoas, além de quem o adota (23). O exemplo ao que ela se refere é a legislação sobre embriões, que foi discutida na Inglaterra durante anos. Com relação ao aborto, é oportuno recordar, na mesma linha de idéias já abordada em tópico anterior, que existe uma diferença entre seu enfoque legal e moral. Sobre a legalidade, vários países o reconheceram, objetivando evitar que ele permanecesse como um fenômeno clandestino, por isso mesmo agravado e impossível de prevenir. Quanto à moralidade, ele é, de qualquer modo, um ato interruptivo de um



processo vital, ao qual alguns setores da sociedade atribuem significado negativo e outros não. De qualquer forma, questões complexas como o aborto não encontram respostas satisfatórias unicamente no âmbito exclusivo do pluralismo e da tolerância, devendo ser integradas a outros conceitos, como a *responsabilidade (da mulher, da sociedade e do Estado)* e a *equidade* no seu mais amplo sentido.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

É sempre preferível confiar mais no progresso e nos avanços culturais e morais do que em certas normas jurídicas. Existem de fato zonas de fronteira nas aplicações da ciência. Levando em consideração a velocidade do progresso biotecnocientífico, é, contudo, impossível reconstruir rapidamente certas referências ou valores que possam vir a ser compartilhados por todos, a menos que se insista na alternativa da imposição autoritária e unilateral de valores. A solução está, então, em verificarmos se é possível trabalhar para a definição de um conjunto de condições de compatibilidade entre pontos de vista que permanecerão diferentes, mas cuja diversidade não implique

# controle social

ocupa posição diferenciada em comparação com a pura ciência e a técnica. Nem anterior, nem superior, mas simplesmente *diferenciada*. Além de sua importância qualitativa no caso, a ética serve como instrumento preventivo contra abusos atuais e futuros que venham a trazer lucros abusivos para poucos, em detrimento do alijamento e do sofrimento de grande parte da população mundial e do próprio equilíbrio biossociopolítico do planeta.

Para que a manipulação da vida se dê dentro do marco referencial da cidadania, com preservação da liberdade da ciência a partir do paradigma ético da responsabilidade, existem dois caminhos. O primeiro deles por meio de legislações que deverão ser construídas democraticamente pelos diferentes países, levando-se em consideração os indicadores acima mencionados e no sentido da preservação de referenciais éticos estabelecidos em consonância com o progresso moral verificado nas respectivas sociedades. No que diz respeito a esse tópico, vale a pena recordar o fracasso representado pela nova legislação brasileira com relação à doação presumida de órgãos para transplantes: após a promulgação da lei em 1997, a qual em momento algum foi discutida e muito menos aceita pela sociedade do país, o número de doadores mortos passou

necessariamente um conflito catastrófico ou uma radical incompatibilidade (24). É oportuno levantar nesse ponto o importante papel formador representado pela mídia (virtual, impressa, falada e televisivada), que deve avançar do patamar do simples entretenimento em direção à abertura de debates públicos relacionados e comprometidos com temas de interesse comum.

O grande nó relacionado com a questão da manipulação da vida humana não está na utilização em si de novas tecnologias ainda não assimiladas moralmente pela sociedade, mas no seu *controle*. E esse controle deve se dar em patamar diferente ao dos planos científicos e tecnológicos: *o controle é ético*. É prudente lembrar que a ética sobrevive sem a ciência e a técnica; sua existência não depende delas. A ciência e a técnica, no entanto, não podem prescindir da ética, sob pena de transformarem-se em armas desastrosas para o futuro da humanidade nas mãos de minorias poderosas e/ou mal-intencionadas.

O "xis" do problema, portanto, está no fato de que, dentro de uma escala hipotética de valores vitais para a humanidade, a ética



a diminuir progressivamente, mês após mês, até que foi decidido pela sua alteração.

O segundo, por meio da construção democrática, participativa e solidária – pela comunidade internacional de nações – de uma versão atualizada da Declaração Universal dos Direitos Humanos, pautada não em proibições, mas na busca afirmativa da inclusão social, de saúde, bem-estar e felicidade. Uma espécie de *Estatuto da Vida*, que possa vir a servir de guia para as questões conflitivas já cons-

tatadas atualmente e para aquelas novas situações que certamente surgirão no transcorrer dos próximos anos como consequência do desenvolvimento. \*

#### Volnei Garrafa

Professor titular do Departamento de Saúde Coletiva e coordenador do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Bioética da Universidade de Brasília; pós-doutorado em Bioética pela Universidade de Roma; vice-presidente da Sociedade Brasileira de Bioética (1998-2001).

## referências bibliográficas

1. JONAS, H. 1990. *Il principio responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*. Turim: Einaudi Editore.
2. GARRAFA, V. 1998. Reflexões bioéticas sobre ciência, saúde e cidadania. *Bioética*, 6 (2); em publicação.
3. SCHRAMM, F. R. 1996. "Paradigma biotecnocientífico e paradigma bioético". Em ODA, L. M. *Biosafety of transgenic organisms in human health products*. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 109-127.
4. MORELLI, T. 1994. "Genetic testing will lead to discrimination". Em BENER, D., LEONE, B. (orgs.). *Biomedical ethics: opposing viewpoints*. San Diego: Greenhaven, 287-292.
5. CAMPBELL, A. 1998. *A bioética no século XXI*. São Paulo: Saúde Heliópolis, 3 (9): 9-11.
6. ENGELHARDT, H. T. JR. 1998. *Fundamentos da bioética*. São Paulo: Loyola.
7. MORI, M. 1994. A bioética: sua natureza e história. *Humanidades (UnB)*, 34: 332-341.
8. SINGER, P. 1994. *Ética prática*. São Paulo: Martins Fontes, p. 01-23.
9. GARRAFA, V. 1995. *Dimensão da ética em saúde pública*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública USP/Kellogg Foundation, p. 20-24.
10. ARISTÓTELES. 1992. *Ética a Nicômacos*. 3ª ed. Brasília: Editora UnB.
11. FLETCHER, J. 1994. Em SÈVE, L. *Para uma crítica da razão bioética*. Lisboa: Instituto Piaget, p. 138-139.
12. LEGALDANO, E. 1993. Assise Internazionale di Bioetica, Roma, 28-30 de maio de 1992; notas preparatórias ao Encontro, cujo conteúdo completo foi publicado por Rodotà S. (org.). *Questioni di bioetica*. Roma-Bari: Sagittari Laterza.
13. CORTINA, A. 1990. *Ética sin moral*. Madri: Tecnos.
14. MORIN, E. 1996. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
15. JONAS, H. 1997. *Técnica, medicina y ética*. Barcelona: Paidós, p. 67-75.
16. CASALS, J. M. E. 1997. *Una ética para la era tecnologica*. Santiago, *Cuadernos del Programa Regional de Bioética (OPS/OMS)*, 5: 65-84.
17. BERLINGUER, G. 1993. *Questões de vida: ética, ciência e saúde*. São Paulo: APCE/Hucitec/CEBES, p. 19-37.
18. BERLINGUER, G., GARRAFA, V. 1993. *La merce uomo*. Roma: MicroMega, (1): 217-234.
19. JOÃO PAULO II. 1995. *Evangelium vitae*. Lettera enciclica sul valore e l'inviolabilità della vita umana. Bolonha: Edizione Dehoniane.
20. KÜNG, H. 1994. *Projeto de uma ética mundial*. São Paulo: Paulinas.
21. BERLINGUER, G., GARRAFA, V. 1996. *O mercado humano. Estudo bioético da compra e venda de partes do corpo*. Brasília: Editora UnB.
22. GARRAFA, V., BERLINGUER, G. A manipulação da vida. *Folha de S. Paulo*, Caderno "Mais", 1/12/1996, p. 5.
23. WARNOCK, M. 1990. "I limiti della tolleranza". Em MENDUS, S., EDWARDS, D. *Saggi sulla tolleranza*. Milão: Il Saggiatori/Mondadori, p. 169.
24. RODOTÀ, S. 1993. "Introduzione". *Questioni di bioetica*. Roma-Bari: Sagittari Laterza, p. IX.

**FOLHA DO  
MEIO  
AMBIENTE**

www.folhadomeioambiente.com.br E-mail: folhamei@terra.com.br

Nosso limite é a sua imaginação.

