

Ciência & Ambiente



DNA: 50 anos

26

Sumário C&A 26

- 3 EDITORIAL
- 5 PRÓXIMA EDIÇÃO
- 7 A DUPLA REVOLUÇÃO DA DUPLA HÉLICE
Pascal Acot
- 17 DNA E EVOLUÇÃO HUMANA
Francisco Mauro Salzano
- 25 PRIMÓRDIOS DA GENÉTICA HUMANA NO BRASIL
Oswaldo Frota-Pessoa
- 33 GENÔMICA NO BRASIL
UMA NOVA ERA NA BIOLOGIA
Anamaria Aranha Camargo
- 41 CLONAGEM HUMANA E BANCOS DE CORDÃO
PARA OBTENÇÃO DE CÉLULAS-TRONCO
Mayana Zatz
- 49 DA TRANSFORMAÇÃO EM BACTÉRIAS ÀS PLANTAS TRANSGÊNICAS
Rubens Onofre Nodari e Miguel Pedro Guerra
- 67 PLANTAS TRANSGÊNICAS E AMBIENTE
Giancarlo Pasquali e Maria Helena Bodanese Zanettini
- 85 O DIREITO DE PROTEÇÃO AO GENOMA HUMANO
Eliane Cristina Pinto Moreira e Sandro Alex de Souza Simões
- 99 RESPOSTA POPULAR À CIÊNCIA E À TECNOLOGIA
FICÇÃO E O FATOR FRANKENSTEIN
Jon Turney
- 115 VOZES DOS CIDADÃOS
PARTICIPAÇÃO PÚBLICA NA ÁREA DA BIOTECNOLOGIA
Edna Einsiedel
- 129 O DOMÍNIO PÚBLICO DO DNA
TENDÊNCIAS A LONGO PRAZO
Martin W. Bauer
- 141 QUANDO A CIÊNCIA VIRA NOTÍCIA
UM MAPEAMENTO DA GENÉTICA NOS JORNAIS DIÁRIOS
Luisa Massarani, Isabel Magalhães e Ildeu de Castro Moreira
- 149 A ESCOLA NA ERA DO DNA E DA GENÉTICA
Élgion L. S. Loreto e Lenira M. N. Sepel
- ENTREVISTAS**
- 157 O TERCEIRO EXCLUÍDO
Maurice Wilkins
- 161 ESTARIA TUDO ESCRITO NOS GENES?
Steven Rose
- 167 INSTRUÇÕES PARA PUBLICAÇÃO
- 168 INSTRUCCIONES PARA PUBLICACIÓN

Ciência & Ambiente

Universidade Federal de Santa Maria
Prédio 13/CCNE – Sala 1110 – Campus Universitário – Camobi
97105-900 – Santa Maria – Rio Grande do Sul – Brasil
Fones: (55)2208735 e (55)2208444/ramal 30
ambiente@ccne.ufsm.br
www.ufsm.br/cienciaeambiente

Ciência & Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria.

UFSM - v. 1, n.1 (jul. 1990) - . - Santa Maria :

ISSN 1676-4188

Semestral

CDD:605 CDU:6(05)

Ficha elaborada por Marlene M. Elbert, CRB 10/951

Os textos de apresentação (em itálico) e eventuais adaptações feitas em cada artigo, de modo a adequá-los ao padrão editorial da revista, são de inteira responsabilidade do editor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Reitor *Paulo Jorge Sarkis*

Centro de Ciências Rurais *Luiz Carlos de Pellegrini - Diretor*

Centro de Ciências Naturais e Exatas *Edgardo Ramos Medeiros - Diretor*

Centro de Ciências Sociais e Humanas *Ronaldo Etchechury Morales - Diretor*

Editor *Delmar Antonio Bressan*

Editores convidados *Luisa Massarani e Ildeu de Castro Moreira*

Conselho Editorial *Beatriz Teixeira Weber*

Élgion Loreto

José Newton Cardoso Marchiori

Miguel Antão Durlo

Ronai Pires da Rocha

Ronaldo Mota

Zília Mara Scarpari

Conselho Consultivo *Alvaro Mones*

André Furtado

Andrey Rosenthal Schlee

Aziz Nacib Ab'Saber

Antonio Carlos Robert Moraes

Emilio Ulibarri

Franz Andrae

Luisa Massarani

Luiz Antonio de Assis Brasil

Pascal Acot

Análise, preparação e revisão de texto *Zília Mara Scarpari*

Editoração de texto e programação visual *Valter Antonio Noal Filho*

Ilustração da capa *Regina Rigão*

Impressão e acabamento *Editora Pallotti/Santa Maria*

Com este número de *Ciência & Ambiente*, comemoramos os 50 anos da identificação da estrutura do DNA, acontecimento que viria a ter um impacto extraordinário na ciência. As conseqüências científicas, tecnológicas, econômicas e sociais foram de tal ordem que a figura da dupla hélice se tornou o ícone da ciência moderna. Ela habita o concreto e o imaginário do mundo contemporâneo, com seu profundo significado para a ciência, e transborda para as artes, o comércio, os filmes, a ficção e a cultura em geral.

Muitos foram os caminhos que conduziram à estrutura do DNA. O primeiro foi a genética clássica. Os trabalhos de Gregor Mendel sobre a hereditariedade, em 1865, permaneceram no limbo até serem refeitos, em 1900, por Hugo de Vries, Carl Correns e Erich Tschermak. Entre 1900 e 1925, uma plêiade de biólogos construiu a teoria cromossômica da hereditariedade; afirmaram o conceito de gene cientistas como Walter Sutton, Theodor Boveri, Wilhelm Johannsen, além de Thomas Morgan e seu grupo, com o estudo das drosófilas. Surgiram então a idéia do mapeamento genético e o estudo, por Hermann Müller, das mutações por raios X.

Entre os anos 1930 e 1950 predominou a concepção de que o material genético era constituído por proteínas em função de sua complexidade molecular. O DNA, identificado nos cromossomos, foi estudado em sua composição química – destacou-se aqui Phoebus Levene – mas era julgado muito simples para ser o portador da informação genética. Nesse período, escorada em novas técnicas para o estudo da matéria e nos conhecimentos emanados da física quântica, inicia-se a busca das estruturas moleculares. Entre os pioneiros se destacaram Hermann Staudinger, com o conceito de macromolécula, e William Astbury, que, apoiado nos recursos da indústria têxtil inglesa, analisou as fibras vegetais e iniciou o estudo do DNA por difração de raios X. Na linha de construção de modelos tridimensionais moleculares, Linus Pauling se tornou o cientista mais conhecido, tendo elaborado o modelo da alfa-hélice para as proteínas.

Outra contribuição decisiva veio do estudo das transformações em bactérias. Ao experimento de Frederick Griffith, em 1928, se seguiram o de Oswald Avery e colaboradores, em 1944, e o de Alfred Hershey e Martha Chase em 1952; tais

pesquisas possibilitaram uma mudança de paradigma: a molécula que contém as informações genéticas passa a ser o DNA. Nos anos 1940, aparecem os trabalhos do grupo capitaneado por Max Delbrück, que explora as ligações entre física, genética e o conceito de informação, e Erwin Schrödinger publica seu influente livro *What is Life?*. No início dos anos 1950, com o aprimoramento dos experimentos de difração, sedimenta-se a base para o trabalho seminal de James Watson e Francis Crick. Eles vão se beneficiar das diversas correntes de pensamento e das tradições experimentais já mencionadas para construir seu modelo de dupla hélice, em março de 1953; usaram ainda o trabalho de Erwin Chargaff sobre as proporções molares das bases no DNA.

Na revista *Nature*, de 25 de abril de 1953, Watson e Crick publicaram *A structure for Deoxyribose Nucleic Acid*. No mesmo número saíram os artigos de Wilkins, Alexander Stokes e Herbert Wilson, bem como o de Rosalind Franklin e Raymond Gosling, nos quais o modelo da dupla hélice se mostra compatível com os resultados experimentais de difração. Em maio, Watson e Crick analisaram as implicações genéticas da estrutura do DNA e sugeriram o mecanismo da replicação. O Prêmio Nobel de 1962 seria concedido a Crick, Watson e Wilkins. Rosalind

Franklin, outro personagem central nesta história, já havia falecido em 1958.

A partir dos anos 1960, com o código genético decifrado, a biologia molecular entrou em fase de extraordinária expansão, que culminaria com o seqüenciamento do genoma humano em 2002. Nesse período,



começaram a ser esclarecidos o papel do RNA e os mecanismos de transcrição e tradução que possibilitam a síntese das proteínas; técnicas novas e poderosas, com o auxílio do computador, automatizaram o seqüenciamento. As aplicações práticas ganharam repercussão econômica e social com os organismos geneticamente modificados, a terapia genética, a clonagem e os tes-

tes genéticos. Com eles vieram à luz sérias implicações sócio-ambientais, éticas e culturais com as quais todos nos defrontamos hoje. A visão determinista que reduz o ser humano aos genes, alertam alguns, poderia conduzir ao ressurgimento de práticas eugenistas e discriminatórias. Por outro lado, é imenso o potencial benéfico dos novos conhecimentos na medicina e na geração de novos recursos para a humanidade. A escolha dos rumos a seguir deve pertencer a todos, se queremos uma ciência que contribua efetivamente para a preservação da vida e para a evolução da sociedade humana.

Sopremos, então, as velinhas – em espiral – que comemoram a entrada definitiva do DNA na vida de todos nós.

Agricultura Sustentável é o tema selecionado para o 27º número de *Ciência & Ambiente*. Os editores desejam questionar a sustentabilidade ecológica e a viabilidade tanto do modelo agrícola convencional (monoculturas, grandes extensões cultivadas, uso intensivo de insumos, inovações tecnológicas etc.), quanto das proposições ditas agroecológicas, particularmente quando se requer aplicação em larga escala. Participam como editores convidados: Dalvan Reinert (Departamento de Solos/Universidade Federal de Santa Maria) e José Antonio Costabeber (Emater/Rio Grande do Sul).

A DUPLA REVOLUÇÃO DA DUPLA HÉLICE

Pascal Acot

A história da descoberta da estrutura em dupla hélice do DNA é exemplar para os historiadores das ciências, porque situa-se na confluência de diferentes disciplinas e técnicas (bioquímica, genética, cromatografia em papel, cristalografia por raios X). Uma técnica em particular apresentou-se como fator decisivo para essa descoberta: a fotografia do DNA cristalizado por difração de raios X. A importância das redes de relações entre os pesquisadores, bem como as afinidades e inimizades entre eles, entraram muitas vezes em jogo. Pesou também a tensão entre o Leste e o Oeste: o fato de seu passaporte ter sido vetado pelo governo dos Estados Unidos, colocou à margem da questão Linus Pauling (1901-1994), o maior químico do momento. Portanto, a descoberta da estrutura do DNA representou não só uma revolução científica, marcando o verdadeiro nascimento da biologia molecular, mas também uma revolução na história das ciências.

Primavera de 1951: a cena se passa em Nápoles, sul da Itália, por ocasião de um congresso internacional consagrado à estrutura das moléculas das células vivas. Um pós-doutorando chamado James Dewey Watson, de apenas 23 anos, entedia-se durante as conferências. Inesperadamente, porém, ao final de uma comunicação bastante insípida – conforme o jovem participante – o químico cristalógrafo Maurice Wilkins apresenta uma fotografia do DNA por difração de raios X. O aspecto cruciforme da imagem sugere uma estrutura cristalina. “Senti-me de repente apaixonado pela química”, conta Watson; “(...) antes de Maurice tomar a palavra, eu acreditava que o gene era fantasticamente irregular. Agora ficava sabendo que este podia cristalizar e que, por conseqüência, tinha uma estrutura regular, passível de ser decifrada diretamente”.¹ Recolocada em seu contexto científico e sociológico, essa observação sintetiza de maneira exemplar o extraordinário concurso de circunstâncias em que a estrutura de dupla hélice do DNA foi elucidada.

A descoberta vincula-se em primeiro lugar ao encontro de diferentes campos disciplinares e metodológicos (cristalografia por raios X, bioquímica, genética), materializado pela presença, em Cambridge, de pesquisadores do porte de Sir Lawrence Bragg (1890-1971), Maurice Wilkins (1916-), Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), Francis Crick (1916-) e James Watson (1928-). Dificilmente a fecundidade da abordagem pluridisciplinar de um problema poderá ser tão espetacular como no caso da descoberta de Watson e Crick. Em segundo lugar, a impossibilidade, por parte do grande químico americano Linus Pauling (1901-1994), de ter tomado conhecimento das importantes imagens do DNA realizadas por Rosalind Franklin, atuou em favor dos pesquisadores de Cambridge; o passaporte de Pauling lhe havia sido vetado por causa de suas convicções pacifistas em plena guerra fria.² Muitos cientistas e historiadores das ciências acreditam que esta censura custou aos Estados Unidos a descoberta da dupla hélice do DNA. Enfim, tal descoberta não foi somente uma revolução na ciência dos seres vivos, fundando as bases da biologia molecular e abrindo assim um domínio inteiramente novo no campo da pesquisa, porque profundas mudanças também ocorreram na história das ciências depois da publicação de *A dupla hélice*: a partir de então, o perfil dos pesquisadores, suas idéias preconcebidas, suas ambições, suas dissimulações e a natureza irracional de algumas de suas escolhas científicas juntam-se ao número de fatores que convém levar em conta.

O DNA foi descoberto em 1869 pelo bioquímico suíço Johann Friedrich Miescher (1844-1895). Ele era discípulo do

¹ WATSON, James D. *La double hélice*. Paris: Robert Laffont, p. 41 (Primeira edição americana: *The Double Helix*, 1968).

² Prêmio Nobel de Química em 1954, Linus Pauling recebeu o prêmio Nobel da Paz em 1962.

³ A pepsina destrói as proteínas, o que permite isolar o DNA.

professor Ernst Felix Immanuel Hoppe-Seyler (1825-1895), que havia dado nome à hemoglobina. Os dois trabalhavam com bandagens de feridos durante a guerra da Criméia, quando, a partir de células de pus, Miescher isola, graças a uma enzima digestiva do estômago (a pepsina³), uma substância até então desconhecida que ele batiza de “nucleína.” Esta contém fósforo, o que é inesperado na época. Mais tarde, a presença de um açúcar na nucleína (a desoxirribose) e seu caráter ácido conduzirão os bioquímicos a batizar a nucleína de “ácido desoxirribonucleico”. Entretanto, seu papel genético e sua estrutura permanecerão desconhecidos por muito tempo.

No decorrer dos anos 1910, e com perspectivas muito distantes da biologia, o físico alemão Max von Laue (1879-1960) descobre a difração dos raios X por meio dos cristais. As imagens fotográficas obtidas formam manchas simétricas porque os raios X possuem comprimentos de onda da mesma ordem de grandeza das distâncias interatômicas. Torna-se possível definir assim a estrutura dos cristais. Em 1915, William Lawrence Bragg (1890-1971) e seu pai William Henry Bragg (1862-1942) recebem o prêmio Nobel principalmente por terem definido a estrutura do cloreto de sódio pelo método radiocristalográfico (Lawrence Bragg havia descoberto em 1912 uma lei que levou seu nome e que estabelecia um elo entre os ângulos nos quais são dispersados os raios X que atingem um cristal e a distância que separa os átomos deste cristal).

A herança do entre-guerras

Lawrence Bragg encontrava-se então no Trinity College (Cambridge). Logo substituiu Ernst Rutherford (1871-1937) como professor de física na Universidade de Manchester. Ao longo dos anos 1930, defende as pesquisas de Max Ferdinand Perutz⁴ (1914-2002) sobre a estrutura das proteínas globulares, criando depois em Cambridge um laboratório destinado ao estudo das moléculas biológicas... Vislumbram-se assim as condições institucionais e científicas que proporcionaram a descoberta de 1953: Bragg dirige o laboratório Cavendish de Cambridge, que irá acolher James Watson; Perutz e o estudante John Kendrew também trabalham ali.

Ainda no decurso dos anos 1930, o físico britânico William Thomas Astbury (1898-1961), discípulo de Lawrence Bragg, é o primeiro a estudar o DNA pela cristalografia por raios X e a estabelecer que sua estrutura apresenta a forma de um longo filamento. Ele também inventa o termo “biologia molecular” e mostra que o DNA comporta uma sucessão de bases empilhadas regularmente cuja distância mede 0,34 nm.

⁴ Em 1962 Max Perutz partilhará com John Cowdery Kendrew (1917-1997) o prêmio Nobel de Química. Ele elucidou principalmente a estrutura da hemoglobina.

Alguns anos antes, em 1928, Frederick Griffith (1881-1941), médico inglês que trabalhava no laboratório de patologia do Ministério da Saúde, tinha tentado criar uma vacina contra a pneumonia. Ele havia mostrado que os diversos tipos de pneumococos (I, II, III, IV) podiam existir sob duas formas. Uma era não-virulenta e as colônias que formava em placa de Petri apresentavam aspecto irregular; esta foi batizada de “R”, do inglês *rough* (rugoso). A outra, virulenta, foi batizada “S”, *smooth* (lisa), pois as colônias apareciam lisas e brilhantes. Aquecidos, os pneumococos S perdiam a virulência.

Por razões que ainda escapam aos historiadores das ciências, mas que indicam tentativas sistemáticas de elaboração de uma vacina, Griffith tem a idéia de injetar em camundongos uma mistura de células vivas não-virulentas (tipo R) e de células de tipo S aquecidas, portanto tornadas inofensivas. O resultado é surpreendente para a época: os camundongos injetados haviam morrido! O tipo R transforma-se em tipo S e essa transformação é hereditária. O próprio Griffith não acredita no que ocorre, pois espera quatro anos para publicar os resultados de sua pesquisa; impunha-se a idéia de transformação genética, causada por um “fator transformante” químico, entre as bactérias mortas pelo calor e as bactérias vivas. Mas Griffith não foi além: como médico, procurava combater pneumococos, não desempenhar funções de geneticista. A história das ciências nos ensina que os cientistas no mais das vezes descobrem o que não esperam encontrar. A natureza do “fator transformante” de Griffith – o DNA – só foi elucidado em 1944 por Oswald Theodore Avery (1877-1955) e seus dois colaboradores Colin McLeod (1909-1972) e Mclyn McCarty (1911-)⁵, após uma série de experiências que se estenderam por mais de dez anos. Muita tinta correu sobre o sentido restrito que Avery atribuiu ao resultado de sua experiência: “Os elementos apresentados apoiavam a idéia segundo a qual um ácido nucléico do tipo *desoxirribose* é a unidade fundamental do princípio transformador do pneumococo de tipo III”.⁶ Em nenhum momento Avery menciona a idéia de hereditariedade nesse artigo. Muitos historiadores das ciências⁷ consideram que Avery focaliza estritamente sua reflexão no “fator transformante” do pneumococo, o que teria impedido de compreender plenamente o papel do DNA em matéria de hereditariedade. Outros atribuem à sua excessiva modéstia a recusa de arriscar-se a uma interpretação teórica apressada de sua descoberta. A seu favor, convém lembrar que em 1944 a comunidade científica não estava pronta para atribuir ao DNA um papel de hereditariedade, considerando

⁵ A ortografia dos nomes citados é a encontrada no artigo original de 1944: *Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types, Induction of Transformation by a Desoxyribonucleic Acid Fraction Isolated from a Pneumococcus Type III. The Journal of Experimental Medicine*, February 1, 1944, vol. 79. n. 2, p. 137-158.

⁶ *The Journal of Experimental Medicine*, February 1, 1944, vol. 79. n. 2, p. 156.

⁷ Conforme, por exemplo, THUILLIER, Pierre. *Jeux et enjeux de la science*. Paris: Robert Laffont, 1972. p. 134-135.

que esta molécula era por demais simples e regular em comparação com a complexidade tão rica das proteínas. Muitos pesquisadores avançaram portanto a idéia de que os resultados de Avery podiam explicar-se por uma contaminação das preparações de DNA pelos traços de proteínas.

A idéia de código genético

Contudo, alguns cientistas captam imediatamente o alcance da experiência de Avery. É o caso de Erwin Chargaff (1905-1992), bioquímico de origem austríaca obrigado a emigrar aos Estados Unidos em 1934. Desde a publicação dos resultados das pesquisas de Avery, Chargaff compreende o papel central do DNA nos mecanismos de hereditariedade e a partir daí orienta nessa direção as pesquisas de seu laboratório na Universidade de Colúmbia. Utilizando uma técnica já antiga, a cromatografia em papel⁸, ele descobre, no ano de 1949, que a relação entre as bases nitrogenadas (adenina – timina / guanina – citosina) é variável conforme as espécies, mas constante no interior de uma mesma espécie. Nesse sentido, o DNA é *específico*. Chargaff mostra que, para toda molécula de DNA, o número de moléculas de adenina é igual ao das moléculas de timina, e que o número de moléculas de guanina é igual ao das moléculas de citosina. Infinitamente mais complexa do que se pensava até então, a molécula do DNA é, portanto, suscetível de ser portadora da informação postulada em 1944 pelo físico suíço Erwin Schroedinger (1887-1961), que emigrara para a Irlanda, em sua obra intitulada *O que é a vida?*. Schroedinger foi o primeiro a falar em “código” genético: “Dando à estrutura das fibras cromossômicas o nome de código, queremos significar que o espírito onisciente concebido um dia por Laplace – para quem toda relação causal era imediatamente decifrável – poderá imediatamente deduzir desta estrutura se o ovo, uma vez colocado em condições adequadas, desenvolver-se-á em galo negro ou em galinha pintada, em mosca ou pé de milho, rododendron ou escaravelho, camundongo ou mulher”.⁹ A idéia segundo a qual a estrutura do DNA revela a hereditariedade estava a caminho.

O Grupo Fago

Os trabalhos efetuados no seio do que se chamou “Grupo Fago” tomam igualmente esse rumo depois do fim dos anos 1930. Trata-se da reunião informal de pesquisadores que atuavam nos Estados Unidos e que haviam escolhido os bacteriófagos¹⁰ como objeto de estudo. A formação desse grupo não foi obra do acaso: o DNA é um objeto de

⁸ A cromatografia em papel é um método de análise química que consiste em separar por capilaridade os constituintes de uma mistura. Foi inventada em 1906 pelo botânico russo Mikhaïl Semenovitch Tsvet (1872-1920).

⁹ SCHROEDINGER, Erwin. *Qu'est-ce que la vie?* Paris: Christian Bourgeois, 1986, p. 71 (primeira edição: *What is Life?* Cambridge University Press, 1944).

¹⁰ Um “bacteriófago” é um vírus de bactéria. Foi descoberto entre 1915 e 1917 pelo biólogo franco-canadense Felix d' Herelle (1873-1949), bem como pelo biólogo inglês Frederic Twort.

pesquisa que se situa na fronteira da física molecular e da biologia genética. Os bacteriófagos representam por sua simplicidade um modelo para abordar a questão da replicação do gene: não podendo reproduzir-se de maneira autônoma, devem injetar seu DNA na bactéria hospedeira, o que tem por efeito um desvio na maquinaria enzimática, que então produz centenas de novos fagos. O fundador do grupo, o alemão Max Delbrück (1906-1981), era físico originalmente. Depois de ter trabalhado com Niels Bohr (1885-1962), interessou-se pelas propriedades físicas do gene, depois pelos bacteriófagos. Dedicou-se notadamente à cinética de sua replicação. O principal colaborador de Delbrück foi o italiano Salvador Luria (1912-1991), que entrou no grupo em 1941. Médico de formação, depois físico no laboratório de Enrico Fermi (1901-1954), Luria acabou dedicando-se definitivamente à biologia, antes de ser obrigado a emigrar para os Estados Unidos.¹¹ O terceiro personagem importante é Alfred Day Hershey (1908-1997), que veio a integrar o grupo em 1943. Com Martha Chase (1930-) ele mostrou que nos constituintes do fago (DNA e proteínas) é o DNA, e não seu envelope protéico, que detém e transmite a informação genética. A partir daí as últimas dúvidas, já bastante elucidadas pela experiência de Avery, são finalmente dirimidas: o DNA é o núcleo do enigma dos mecanismos da hereditariedade.¹² Estamos em 1952...

¹¹ Suas pesquisas lhe valeram o prêmio Nobel em 1969, com Delbrück e Hershey.

¹² Hershey se corresponderia com Watson e o informava sobre seus trabalhos.

Assim, numa breve retrospectiva dos fatos, vimos que todas as condições científicas e institucionais estavam reunidas para tornar possível a descoberta da estrutura do DNA. Primeiro: é conhecida a sua composição química (desoxirribose, bases nitrogenadas, agrupamentos fosfato). Segundo: com os trabalhos de Chargaff, sabe-se que as moléculas de adenina e de timina, bem como as de guanina e de citosina estão emparelhadas, isto é, combinadas em duplas. Terceiro: fica claro por microscopia eletrônica que o diâmetro da molécula do DNA é de 20 Å, o que parece implicar duas cadeias desoxirribose-fosfato. Quarto: o Laboratório Cavendish de Cambridge, onde trabalha Francis Crick, é um templo da cristalografia por raios X. Vimos que Cavendish é dirigido na ocasião por Max Perutz e por Sir Lawrence Bragg, um dos fundadores deste método. Nesse laboratório trabalha também John Kendrew, o brilhante discípulo de Perutz.

A desafortunada Rosalind Franklin

Enfim, e talvez principalmente, dois especialistas da cristalografia por raios X trabalhavam não longe de Cambridge, no King's College de Londres: Maurice Wilkins, de quem já se

tratou aqui, e Rosalind Franklin (1920-1958). James Watson fez dessa mulher um retrato pouco elogioso, quase às raias da vulgaridade: “Perguntava-me às vezes com o que ela se pareceria se tirasse os óculos e mudasse o penteado”, observara ele por ocasião de uma conferência que ela proferia sobre suas importantes imagens de difração cristalina do DNA por raios X, que desempenharam papel fundamental para a descoberta de Crick e Watson. Como prova, tome-se o fato de Linus Pauling haver ficado à margem do processo, mesmo sendo um grande químico cristalográfico, por não ter tido acesso, em razão de questões políticas, aos dados cruciais dessa descoberta.

Curiosamente, a leitura de *A dupla hélice* deixa a impressão de que Rosalind Franklin seria uma espécie de auxiliar técnica de Maurice Wilkins, uma boa fotógrafa, nada mais, e dona de um caráter inflexível. No entanto, ela ocupava a mesma posição de Wilkins no laboratório de King’s College: o patrão de ambos era então John Randall, que pedira somente a ela para pesquisar sobre a estrutura do DNA. Sobre essa questão, talvez Randall tenha cometido uma grave injustiça por inabilidade: Wilkins, a quem se deve, juntamente com Raymond Gosling (1926-), as primeiras imagens de difração do DNA por raios X, sentiu-se desprestigiado, tendo muito provavelmente manifestado a sua contrariedade. Quanto ao caráter de Rosalind Franklin, o ambiente geral da época para as mulheres cientistas na Inglaterra pode explicá-lo em parte.

A elas não era permitido ocupar a “alta cátedra” reservada aos professores, e parece que Rosalind nunca fora admitida nos *pubs* que freqüentavam Wilkins, Crick e Watson quando eles se encontravam. Além disso, os colégios de Cambridge não eram mistos quando ela os cursara: Newham College, onde havia estudado química física, era uma faculdade para mulheres.

Ora, apesar dessas dificuldades, ela faz duas descobertas maiores: em primeiro lugar, a da possível cristalização do DNA sob duas formas: a forma B, com 10 pares de nucleotídeos para cada volta de hélice, e que corresponde às condições fisiológicas mais correntes; e a forma A, com 11 pares de nucleotídeos por volta, encontrados às vezes quando o grau de hidratação é mais fraco (< 65%). Em segundo lugar, ela provou que a estrutura do DNA, sua “coluna vertebral” de desoxirribose-fosfato não se encontrava no interior, mas no exterior da hélice. Além disso, deve-se a ela a prova de que a estrutura *geral* do DNA é helicoidal. Os geneticistas consideram hoje que Rosalind Franklin fez mais do que preparar o terreno para Watson e Crick; ela deveria ter partilhado com eles o prêmio Nobel se estivesse viva na ocasião.

Isso é ainda mais verdadeiro se recuperarmos o fato de que Max Perutz, que se encontrava no Laboratório Cavendish, avaliara em fevereiro de 1953 o relatório de atividades do laboratório de Randall, que continha evidentemente dados elaborados por Franklin. Segundo Watson, foi Perutz quem repassara tudo a Watson e Crick, sem o devido conhecimento da jovem cientista e de John Randall.¹³ Longe de ficar magoada, no entanto, Rosalind Franklin ter-se-ia felicitado pelo fato de suas pesquisas terem sido úteis, embora nem mesmo estivesse citada na nota histórica de abril de 1953 da revista *Nature*!

¹³ Segundo outras fontes, esta versão inocentaria Maurice Wilkins, que seria o verdadeiro responsável pela apropriação indébita.

A descoberta

Em sua história da genética intitulada *A lógica dos seres vivos*, François Jacob (1920-), que dividira em 1965 o prêmio Nobel com Jacques Monod (1910-1976) e André Lwoff (1902-1994) por suas pesquisas sobre o RNA mensageiro, observa que “Durante muito tempo o biólogo esteve diante da teleologia como aos pés de uma mulher sem a qual não pode ficar, mas em cuja companhia não quer ser visto em público”.¹⁴ É igualmente o caso do historiador das ciências: a breve apresentação que acaba de ser feita dos quadros institucionais e conceptuais da descoberta da dupla hélice poderia dar margem a pensar que o encadeamento das circunstâncias históricas acabaria por conduzir fatalmente a essa conquista científica. Isso porque uma apresentação desta natureza não permite incluir todos os possíveis que, ao longo de suas pesquisas, foram livremente descartados por Watson e Crick. Assim, consideramos retrospectivamente que Watson teve razão de fazer sua tese no laboratório de Salvador Luria entre 1948 e 1950, e que essa experiência no Grupo Fago atuou em seu favor quando se tratou de elucidar a estrutura do DNA. Não esqueçamos, porém, que na época desta escolha Watson não se preocupava com a estrutura em questão. Da mesma forma, o fato de Francis Crick ter recebido uma formação inicial de física e em seguida ter-se dedicado à cristalografia, só pode ser interpretado como acaso ou sorte na medida em que ele encontrou James Watson, e que os dois fizeram livremente uma nova escolha: a de se debruçarem nos mistérios da estrutura do DNA. A história das ciências se nos oferece na forma de encadeamento de fatalidades, quando no fundo ela é encadeamento de escolhas livres efetuadas em circunstâncias determinadas. Bem preparados, bem avizinados, Watson e Crick farão, aliás, uma última opção crucial, a de sua metodologia. Watson ficara impressionado pela aparente facilidade com que Linus Pauling havia descoberto a *alfa*-hélice. O grande quími-

¹⁴ JACOB, François. *La logique du vivant*. Paris: Gallimard, 1970. p. 17;

co, diz Watson, “(...) inspirara-se nas leis simples da química estrutural (...) a astúcia essencial (...) havia consistido em perguntar-se quais os átomos que gostavam de aproximar-se uns dos outros. Ao invés de papel e lápis, os utensílios de trabalho eram um conjunto de modelos que se assemelhavam *grosso modo* a brinquedos de crianças em idade pré-escolar.”¹⁵ Watson, longe da cristalografia, fica tentado por essa espécie de montagem com modelos moleculares: “Não imaginávamos por que não apreendíamos a estrutura do DNA da mesma maneira. Tudo o que era preciso fazer, era construir um jogo de modelos moleculares e começar a jogar; com a sorte ajudando, a estrutura seria talvez uma hélice.”¹⁶ Não se pode entretanto tomar as palavras de Watson ao pé da letra. Seu auto-escárnio e cinismo não devem toldar a seriedade de sua conduta: com apenas 23 anos ele sabia que um prêmio Nobel ficava no final da corrida da qual ele acreditava estar participando com Linus Pauling.¹⁷

As audácias teóricas de Crick, que segundo Watson, elaborava uma teoria por dia, tanto quanto seu conhecimento de cristalografia, vão desempenhar papel decisivo na gênese da descoberta: os dois cientistas improvisam modelos moleculares, mas controlam a coerência dos mesmos com o real, à luz principalmente dos dados cristalográficos elaborados por Franklin, Wilkins e Gosling. O que se segue é conhecido: Watson conta como compreendeu uma manhã “que a adenina sempre emparelharia com a timina e que a guanina se uniria invariavelmente à citosina”; e prossegue: “As leis de Chargaff revelaram-se de repente como a consequência de uma estrutura de dupla hélice do DNA”.¹⁸ Portanto a ordem das bases nitrogenadas é que define a informação genética da qual o DNA é portador. Ou melhor, este tipo de dupla hélice sugeria um esquema de replicação mais satisfatório que aquele anteriormente considerado por Watson. A molécula do DNA apresenta-se como uma escada torcida sobre si mesma. Os degraus desta escada são os pares de bases nitrogenadas. Porém são degraus peculiares: facilmente separáveis pelo meio (as ligações hidrogênio entre as bases são ligações fracas). Ora, se a molécula de DNA pode separar-se dessa maneira, resta sempre informação suficiente sobre cada metade para autorizar a reconstituição da outra: cada adenina se ligará com uma timina e cada guanina com uma citosina. A relação com a mitose, a divisão celular, torna-se evidente na medida em que se conhece a estrutura do DNA. Isso explica também porque cada célula de um organismo contém o conjunto da informação genética inicialmente contida no ovo do qual se originou.

¹⁵ WATSON, James. *La double hélice*, p. 58.

¹⁶ WATSON, James. *La double hélice*, p. 58-59.

¹⁷ Muitos analistas pensam hoje que Pauling por certo se interessava pelo DNA, mas sem paixão nem ambições particulares. Deste ponto de vista, mais perigosa, no fundo, seria Rosalind Franklin, mas ela era só ou quase isso...

¹⁸ WATSON, James. *La double hélice*, p. 190.

Genética, engenharia molecular e holismo

A genética molecular nasceu verdadeiramente com essa descoberta. Algum tempo depois, no decurso dos anos 1960, foi elucidada a maneira como se realiza, nos caracteres do organismo, a mensagem da qual o DNA é portador: o RNA (ácido ribonucléico) age como um mensageiro que transmite as instruções do DNA desde o núcleo rumo à célula; essas instruções desencadeiam mecanismos enzimáticos que terminam com a elaboração das diversas moléculas protéicas, necessárias à construção do organismo. Francis Crick foi o primeiro a conceber a hipótese de que o primeiro material genético não é o DNA, mas o RNA. Ele também enunciou o “dogma central”, que fez sucesso nos anos 1970, segundo o qual a informação genética circula em sentido único: do DNA para o RNA primeiramente, depois em direção às proteínas. As proteínas jamais se codificam pelo RNA, nem conseqüentemente pelo DNA. Recentemente, a possibilidade técnica de cortar e de modificar as moléculas de DNA a fim de alterar seu código inicial, isto é, de intervir sobre os genes e as proteínas que eles produzem, e em seguida de transmiti-los a um outro organismo, abriu horizontes promissores em vários campos. Pode-se assim recolher insulina “humana” de enterobactérias como *Escherichia coli*! Ao final, terapias gênicas poderão certamente ser desenvolvidas, uma vez que as doenças genéticas são causadas por genes deteriorados: estes codificam imperfeitamente esta ou aquela proteína. A tecnologia dos organismos geneticamente modificados (OGM) tornou-se igualmente possível pelos desenvolvimentos da genética molecular.¹⁹

¹⁹ Não é o caso de chamar aqui a atenção sobre os perigos provocados pela rapacidade das grandes companhias biotecnológicas, principalmente norte-americanas, que ameaçam toda a biosfera, introduzindo nela organismos que não foram selecionados pelos mecanismos darwinianos.

²⁰ Holismo: do grego *holos*, Todo.

Pascal Acot é filósofo, doutor em Letras e historiador da Ciência no Centro Nacional de Pesquisa Científica, França. acot@univ-paris1.fr

Texto traduzido por Zília Mara Scarpari.

Afora os perigos que podem ser causados por essas técnicas oriundas da genética molecular, bem como os problemas éticos que elas fazem surgir (pensamos na clonagem terapêutica do embrião humano, entre outras), os biólogos molecularistas formularam, desde o começo, um problema maior: o de seu imperialismo disciplinar. No entusiasmo dos anos 1960, seu reducionismo triunfante drenou o essencial dos créditos alocados para as pesquisas de ponta em biologia: pretendia-se explicar tudo, curar tudo, pela genética molecular. Matemáticos, físicos invadiram os laboratórios de genética. É preciso reagir, não em detrimento da abordagem molecularista, mas compreendendo que a abordagem global, “holística”²⁰, deve complementá-la: um sistema vivo não é redutível a um arranjo molecular complexo. Guardemo-nos de construir tal imagem do mundo: empobrecendo assim o real, acabaremos parecidos com ele.

DNA E EVOLUÇÃO HUMANA

Francisco Mauro Salzano

Quem somos e para onde vamos? Cientificamente essas perguntas só podem ser respondidas a partir de um enfoque evolucionário. O estudo direto do material genético, ao nível molecular, está possibilitando a avaliação de questões específicas que até há pouco tempo pareciam irrespondíveis. Atualmente existem métodos que permitem examinar novos aspectos determinados das relações do Homo sapiens com os seres orgânicos em geral e, mais especificamente, com os nossos parentes antropóides. Como surgiram os grupos humanos nos diferentes continentes? Como se deu a povoação da América, em particular da América Latina? De que maneira o estudo do DNA pode iluminar aspectos relacionados com estilos de vida? Qual será, enfim, nosso futuro biológico?

O antigo e o novo – uma relação dialética

O conceito de evolução não é novo. Na verdade, como quase tudo do que se pensou até hoje, tal conceito remonta à Grécia antiga. Heráclito (576-480 a. C.) já acreditava que a mudança era a característica fundamental do cosmos. Dois aspectos importantes de suas idéias eram a visão materialista do mundo e a busca de um princípio unificador, que explicasse de maneira global as características do universo.

O conceito de evolução, no entanto, consolidou-se lentamente. Como exemplo pode-se citar a idéia de continuidade e mudança gradual presente no pensamento de Gottfried W. Leibnitz (1646-1716) e a proposta formal de como ocorreria esse processo, de Jean Baptiste Lamarck (1744-1829). Mas foi apenas com Charles Darwin (1809-1882) que o conceito foi firmemente estabelecido do ponto de vista científico.

A história da descoberta da função e estrutura do DNA (*deoxyribonucleic acid* ou ácido desoxirribonucléico) é mais recente, mas nem por isso menos emocionante. Ela pode ser traçada a partir das observações seminais de Oswald T. Avery (1877-1955) e colaboradores na década de 40 e do trabalho clássico de James D. Watson e Francis H. C. Crick em 1953. Desde então, muito foi descoberto. Na verdade o desenvolvimento do que passou a ser caracterizado como biologia molecular desafia adjetivos. Estamos diante de uma relação dialética clássica, na qual a contradição antigo/novo deu lugar a uma luminosa síntese que vem esclarecendo aspectos importantes de nossa história.

Métodos de estudo do DNA

Duas substâncias de especial interesse para os biólogos moleculares são as proteínas e os ácidos nucleicos. Esses últimos são de dois tipos, DNA e RNA (*ribonucleic acid* ou ácido ribonucléico), muito semelhantes entre si. O DNA é uma molécula complexa, formada por unidades chamadas nucleotídeos. Cada um deles, por sua vez, é composto de um grupo fosfato e uma base nitrogenada. O nome complicado do DNA é dado pelo açúcar presente em sua molécula, a desoxirribose, formada por um anel de átomos de carbono e oxigênio (enquanto que o açúcar presente no RNA é a ribose). Milhares de nucleotídeos organizam-se em forma linear, constituindo duas cadeias que se enrolam originando uma dupla hélice.

O estudo direto do DNA pode ser realizado de diferentes maneiras, na busca de padrões evolucionários. Basi-

camente, tem-se: (a) proteínas especiais, denominadas de enzimas de restrição ou endonucleases, que reconhecem regiões específicas do material genético e o cortam; (b) elementos particulares presentes no citoplasma de bactérias, que são vetores (plasmídios) capazes de transferir um segmento de DNA de uma célula para outra e multiplicá-lo; (c) sondas, fitas simples de DNA ou RNA que tenham sido marcadas no laboratório para identificar porções específicas do DNA; (d) reação em cadeia da polimerase, uma enzima, ou PCR (*polymerase chain reaction*), que amplifica o material de interesse, possibilitando seu estudo; (e) eletroforese (separação dos fragmentos de DNA por sua carga elétrica), para verificação dos produtos amplificados; e (f) seqüenciamento, isto é, a identificação, base por base, da região que está sendo estudada.

A natureza dos marcadores a serem utilizados para o estudo é também diversa. Variantes relativamente comuns (polimorfismos) podem ser identificados através de RFLPs (*restriction fragment length polymorphisms*, polimorfismos de comprimento dos fragmentos de restrição) ou do seqüenciamento direto; neste caso temos os polimorfismos de nucleotídeos simples (SNPs, *single nucleotide polymorphisms*). Pode-se, porém, investigar determinadas regiões quanto ao número de certo tipo de repetições que lá existem, sejam elas pequenas (1 a 4 nucleotídeos; quando os marcadores são denominados de microssatélites) ou maiores (*variable number of tandem repeats* ou VNTRs; número variado de repetições adjacentes ou em tandem). Outros tipos de alterações, como inserções ou deleções de determinados segmentos, ou ainda rearranjos, podem ser detectados através do seqüenciamento.

Somos todos irmãos

Se existe algum princípio que deve ser enfatizado a partir dos estudos da “nova genética” ele é o de que “somos todos irmãos”. A seqüência completa de uma levedura, *Schizosaccharomyces pombe*, revelou nada menos do que 50 genes que apresentam similaridade significativa com genes causadores de doença em nossa espécie.¹ Por outro lado, estudos de genômica comparada identificaram uma série de genes que devem ter tido origem comum (ortólogos) entre a mosca de frutos, *Drosophila melanogaster*, e o *Homo sapiens*; e 300 genes mapeados nos cromossomos da galinha têm um ortólogo humano². No caso do camundongo as similaridades são ainda mais marcantes. Dos 731 genes identificados no cromossomo 16 de *Mus musculus*, 509 alinham-se com ortólogos nas porções correspondentes do

¹ WOOD, V. *et al.* The genome sequence of *Schizosaccharomyces pombe*. *Nature*, 415: 871-880, 2002.

² BUITENHUIS, A. J. *et al.* Improvement of the comparative map of chicken chromosome 13. *Animal Genetics*, 33: 249-254, 2002.

genoma humano, 44 são provavelmente parálogos (apresentam similaridades que não derivam de origem comum) e 164 têm homólogos em outras regiões do nosso genoma. Apenas 14 genes não apresentam uma contrapartida humana³.

A noção, portanto, da grande cadeia de descendência com relação a todo o mundo orgânico manifesta-se como uma fria realidade, que deve ser apropriadamente considerada pelos cultores do desenvolvimento econômico a qualquer preço. A religião católica, por exemplo, é uma das religiões mais antropocêntricas entre as que foram criadas até hoje. Fazemos parte de uma grande comunidade de parentesco, e o mundo orgânico não existe somente para nos servir.

Nossas relações com os antropóides

O estudo de extensas áreas do DNA de todos os segmentos diferenciados de seus genomas, isto é, de material situado no núcleo das células, seja nos cromossomos sexuais X e Y como nos não sexuais (autossomos), forneceu uma série de pontos de interesse quanto ao parentesco entre humanos e as espécies evolutivamente mais próximas de nós (chimpanzés, gorilas e orangotangos, coletivamente classificados como hominóides). Assim: (a) está bem estabelecido que a partir de um ancestral comum os primeiros a se diferenciarem foram os orangotangos, seguidos pelos gorilas; somente após este fato ocorreu a separação entre humanos e chimpanzés; (b) estes últimos compartilhavam um ancestral comum entre 4,6 e 6,2 milhões de anos atrás; (c) os gorilas ramificaram-se entre 1,6 e 2,2 milhões de anos antes da divergência humanos-chimpanzé; (d) como seria de esperar, devido à sua separação evolucionária relativamente recente, as diferenças entre os genomas de humanos e chimpanzés, avaliadas a partir de 1,9 milhões de pares de bases, são de apenas 1,24%; (e) as taxas de mutação são três vezes mais altas nos machos do que nas fêmeas; (f) foi possível identificar episódios claros de seleção positiva (favorecendo certas mudanças) em determinados segmentos deste DNA; (g) há sinais de uma expansão, na história dos humanos modernos ocorrida entre 160 e 190 mil anos atrás, bem como de reduções e substituições de grupos. Isto condicionou um nível relativamente mais baixo de variabilidade genética na nossa espécie, quando comparada com os outros hominóides; e (h) *Homo* e *Pan* podem representar as extremidades opostas de um espectro de substituição versus continuidade, respectivamente, ao longo de histórias evolucionárias distintas.⁴

³ MURAL, R. J. *et al.* A comparison of whole-genome shotgun-derived mouse chromosome 16 and the human genome. *Science*, 296: 1661-1671, 2002.

⁴ CHEN, F.-C. & LI, W.-H. Genomic divergences between humans and other hominoids and the effective size of the common ancestor of humans and chimpanzees. *American Journal of Human Genetics*, 68: 444-456, 2001.
EBERSBERGER, I. *et al.* Genomewide comparison of DNA sequences between humans and chimpanzees. *American Journal of Human Genetics*, 70: 1490-1497, 2002.
JOHNSON, M. E. *et al.* Positive selection of a gene family during the emergence of humans and African apes. *Nature*, 413: 514-519, 2001.
KAESSMANN, H. *et al.* Great ape DNA sequences reveal a reduced diversity and an expansion in humans. *Nature Genetics*, 27: 155-156, 2001.
STONE, A. C. *et al.* High levels of Y-chromosome nucleotide diversity in the genus *Pan*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 99: 43-48, 2002.

O surgimento dos humanos modernos

Existem duas explicações alternativas para a diferenciação intercontinental atualmente observada em nossa espécie. Uma é denominada de “saída da África” (*out of Africa*). Humanos anatomicamente modernos teriam se diferenciado na África e em época relativamente recente (ao redor de 100 mil anos atrás) teriam se espalhado pelos outros continentes, substituindo então completamente populações de *Homo erectus* que ali habitavam. A hipótese alternativa (“multirregional”) postula que as diferenças atuais refletem as que existiam previamente, tendo havido fluxo gênico suficiente entre as populações antigas para supor-se que elas teriam evoluído como um todo.

A maioria esmagadora dos dados genéticos indica que a hipótese “saída da África” deve ser a mais provável, embora haja ainda muita discussão sobre o grau de fluxo gênico que teria ocorrido durante o processo.⁵

Uma questão equivalente relaciona-se com o chamado “enigma Neandertal”. A palavra deriva do nome de um vale próximo de Düsseldorf, na Alemanha, que por sua vez remonta ao de um compositor pouco conhecido do século 17, Joachim Neumann, o qual acoplou ao seu sobrenome a palavra Neander (do grego “Novo Homem”). Por muito tempo o vale foi denominado de “vale do Neander”, e eventualmente as duas palavras foram reunidas (Neandertal)⁶. Neste vale foram encontrados os restos ósseos de uma criatura que diferia morfológicamente, em diversos aspectos, do *Homo sapiens* atual. Teria sido ela uma subespécie do *sapiens* (*Homo sapiens neandertalensis*) especialmente adaptada ao clima frio da região, ou uma espécie diversa (*Homo neandertalensis*), portanto reprodutivamente isolada de *H. sapiens*?

A discussão a respeito é antiga, mas o estudo do DNA presente em uma organela do citoplasma das células, a mitocôndria, de cinco espécimes de neandertais, parecia tê-los colocado fora da distribuição presentemente observada nos humanos. Uma reanálise desses dados, no entanto, sugeriu que as interpretações anteriores não levaram em consideração a variação na taxa alta de substituição presente no DNA da região estudada, e não estimaram os parâmetros do modelo de substituição nucleotídica a ser adotado. Caso se admita essa hipótese, as distribuições das distâncias pareadas neandertal-humano e humano-humano sobrepõem-se mais do que sugeriam os estudos anteriores. O problema, portanto, permanece aberto.⁷

⁵ TEMPLETON, A. R. Human races: a genetic and evolutionary perspective. *American Anthropologist*, 100: 632-650, 1999.

⁶ TRINKAUS, E. & SHIPMAN, P. *The Neandertals. Of skeletons, scientists, and scandal*. New York: Vintage Books, 1994.

⁷ GUTIERREZ, G. *et al.* A reanalysis of the ancient mitochondrial sequences recovered from Neandertal bones. *Molecular Biology and Evolution*, 19: 1359-1366, 2002.

A colonização das Américas

Após o estabelecimento dos humanos modernos na África e Eurásia, ocorreram duas outras dispersões principais, uma para as Américas e outra para a Austrália. Aqui também há discussões acaloradas a respeito de como aconteceram tais eventos; por motivos óbvios vou concentrar-me na colonização do que foi denominado o Novo Mundo.

Há consenso de que a colonização deva ter-se realizado através do Estreito de Bering, mas existem muitas interrogações sobre o tipo e o número dessas migrações, bem como sua antigüidade. Com relação ao primeiro ponto, foram desenvolvidas hipóteses que sugerem apenas uma ou múltiplas (2-5) migrações principais, sendo que a mais antiga seria constituída por paleoíndios, não-mongolóides. No que se refere à data de entrada dessas migrações nas Américas, foram propostas estimativas que variam entre 10 mil e 30 mil anos atrás. É impossível, no espaço aqui disponível, tratar com detalhes as diferentes alternativas. Os dados de DNA mitocondrial e de marcadores do cromossomo Y, no entanto, sugerem uma só leva migratória, que teria entrado no continente há 20 mil anos atrás. Não há indicações, nesses estudos, de uma contribuição significativa não-mongolóide às populações ameríndias atuais. Caso tenha ocorrido, esses migrantes do passado teriam sido extintos. A investigação do DNA de material ósseo pré-histórico poderá fornecer subsídios a respeito.⁸

⁸ POWELL, J. F. & NEVES, W. A. Craniofacial morphology of the first Americans: pattern and process in the peopling of the New World. *Yearbook of Physical Anthropology*, 42: 153-188, 1999.
SANTOS, F. R. *et al.* The Central Siberian origin for Native American Y chromosomes. *American Journal of Human Genetics*, 64: 619-628, 1999.
SILVA, W. A. Jr. *et al.* Mitochondrial genome diversity of Native Americans supports a single early entry of founder populations into América. *American Journal of Human Genetics*, 71: 187-192, 2002.

O mosaico genético latino-americano atual

Após as migrações que deram origem aos ameríndios, outras ocorreram no período histórico, a partir principalmente da Europa e África. Tais contingentes cruzaram-se entre si e com os ameríndios neste novo ambiente, criando populações de características únicas tanto no que se refere a condições normais como patológicas. Quanto a essas últimas, as alterações detectadas no nível molecular, com relação a entidades específicas, muitas vezes diferem das que ocorreram em outros continentes, e o mesmo é verdadeiro no que se refere às correlações genótipo/fenótipo. Já a variabilidade normal, apesar de estar muitas vezes distribuída em blocos, mostra padrões que desafiam as classificações étnicas. A conclusão principal é clara: apesar de variações regionais, o fluxo gênico é universal. Isto não significa que ele não seja dirigido. Em populações latino-americanas de ancestralidade mista, o componente europeu tem sido fornecido principalmente pelos homens, enquanto as frações

ameríndia e africana derivam principalmente das mulheres. Isto é um reflexo de uniões que ocorreram durante o período colonial e que graças aos marcadores de DNA exclusivamente matri ou patrilineais puderam ser detectadas independentemente das mudanças demográficas, culturais e biológicas ocorridas posteriormente.⁹

⁹ SALZANO, F. M. & BORTOLINI, M. C. *The evolution and genetics of Latin American populations*. Cambridge University Press, 2002.

Dinâmica gênica e estilos de vida

Nosso grupo tem estado ativamente envolvido na investigação de diferentes aspectos do metabolismo lipídico (como o organismo humano utiliza as substâncias graxas ingeridas na alimentação), e uma série de estudos envolvendo este problema tem sido desenvolvida em indígenas sul-americanos. Um aspecto especial e importante nesta área refere-se à obesidade. Esta condição constitui-se, na atualidade, em um problema generalizado, que é particularmente agudo entre populações aborígenes aculturadas distribuídas por todo o planeta.

O primeiro gene candidato para a obesidade identificado em índios brasileiros foi o receptor de lipoproteína de baixa densidade. Posteriormente, a investigação de outra região genética, a do gene receptor de dopamina D2, forneceu resultados ainda mais interessantes. Isto porque variantes neste sistema podem influenciar na obesidade através do que se denomina a rota dopaminérgica de recompensa. O que está por trás destes termos técnicos? O consumo de alimentos, naturalmente, é essencial à sobrevivência, e o sentimento de prazer e satisfação que ocorre depois da ingestão de nutrientes reforça fortemente tal ação. O estímulo na rota acima indicada pode reduzir a efetividade de fatores de saciedade, promovendo a alimentação em excesso e levando à obesidade.¹⁰

¹⁰ HUTZ, M. H. *et al.* Association of the dopamine D2 receptor gene with obesity in Native Brazilians. *Progress in Obesity Research* (no prelo).
MATTEVI, V. S. *et al.* Association of the low-density lipoprotein receptor gene with obesity in Native American populations. *Human Genetics*, 106: 546-552, 2000.

As sociedades indígenas brasileiras estão sofrendo mudanças drásticas em sua dieta e estilos de vida. É importante correlacionar essas modificações a um substrato de predisposição genética, pois indivíduos dessas populações podem desenvolver uma prevalência aumentada de doenças metabólicas (como a diabete), à medida que seus modos de vida se tornarem mais semelhantes aos das populações não-indígenas. Obviamente, isto influenciará o seu futuro evolucionário.

O futuro

O fantástico desenvolvimento da ciência e da tecnologia tem gerado uma série de especulações sobre o nosso futuro evolucionário. Deve-se salientar que este futuro

poderá ser muito diferente, dependendo do contexto político em que for concretizado. O processo de globalização das economias nacionais é irreversível, mas devem ser estabelecidos processos de distribuição de riqueza (e de concomitante bem-estar) entre países e entre pessoas de cada país. A interação entre agentes de saúde, pacientes e toda a comunidade deverá ser fortalecida para realizar o ideal da Organização Mundial de Saúde, de saúde para todos.

Qual será o impacto desses desenvolvimentos em nossa evolução biológica? Sem dúvida, esta última deverá ser cada vez mais influenciada por nós mesmos. A prevenção e o diagnóstico precoce de possíveis problemas genéticos tornarão possível sua eliminação; caso isso não ocorra, a terapia gênica proporcionará a cura de doenças hereditárias. Transplantes para a reposição de órgãos danificados durante a vida pós-natal serão desenvolvidos de forma a evitar o problema imunológico, ou substituídos por órgãos artificiais. Alimentos transgênicos e a farmacogenômica possibilitarão a minimização de reações alérgicas ou tóxicas, e o ideal da intervenção medicamentosa personalizada.¹¹

Nosso futuro evolucionário, portanto, dependerá de nós mesmos. Nesse processo, conflitos entre os interesses pessoais e os comunitários, bem como entre grupos comunitários ou nações, ocorrerão inevitavelmente. Será indispensável, portanto, garantir que as decisões sejam eticamente responsáveis, e que os enormes gastos atualmente despendidos para esforços bélicos sejam redirecionados para possibilitar o bem-estar generalizado. Tudo parece muito utópico, mas não é proibido sonhar!

¹¹ SALZANO, F. M. Passado, presente e futuro da humanidade. O que a tecnologia nos promete? *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, 27: 40-47, 2002.

Francisco Mauro Salzano é biólogo, doutor em Genética e professor emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

francisco.salzano@ufrgs.br

PRIMÓRDIOS DA GENÉTICA HUMANA NO BRASIL

Oswaldo Frota-Pessoa

Os desdobramentos de uma especialidade científica tendem a seguir caminhos tortuosos, que a dedicação dos pesquisadores retifica e fortalece. Mesmo antes de ter um nome, a genética existia como um conjunto de observações e conceitos não confirmados. Quem extraiu desse conglomerado o fio da meada que a conduziu ao seu fastígio atual, foi, com sua argúcia, o abade Gregor Mendel (1822-1884). Nos primeiros decênios do século 20, este campo da ciência se desven-cilhou dos seus anexos embrionários, entrelaçou-se com a teoria da evolução e consolidou várias sub-áreas, como a genética de populações, a genética bioquímica e a citogenética, em busca frenética do gene concreto, que viria substituir o gene imaginário de Mendel.

No Brasil, esses ramos foram aplicados à espécie humana, graças à interação, nas Universidades, entre ensino, pesquisa e prestação de serviços, fato que hoje garante à genética humana brasileira projeção destacada no cenário internacional.

A Genética Humana no Brasil

As primeiras pesquisas sobre Genética Humana no Brasil¹ foram realizadas por médicos hematologistas, como Jessé Accioly, Frederico Ottensooser, Cora Pedreira e muitos outros interessados em grupos sanguíneos e sua distribuição racial, especialmente entre os índios. Curiosamente, entretanto, a Genética Humana brasileira derivou, em grande parte, da Genética de Populações de drosófilas, as mosquinhas das frutas. A Genética de Populações determina as freqüências que os genes apresentam nas populações e estuda comparativamente suas variações.

Em 1934, André Dreyfus², que ensinava Histologia na Faculdade de Medicina, foi contratado para chefiar o Departamento de Biologia Geral da recém-fundada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Ele era um conferencista magnífico e gostava de divulgar a genética.³ Em uma viagem aos Estados Unidos, promovida pela Fundação Rockefeller, convidou Theodosius Dobzhansky, um dos maiores evolucionistas da época, para instalar, como pesquisador visitante, um projeto de pesquisa em seu Departamento. Dobzhansky estudava genética de populações de drosófilas da América do Norte e desejava compará-las com as do Brasil. Em 1948, Dobzhansky e Crodowaldo Pavan, assistente de Dreyfus, desenvolveram, com vários bolsistas, um vigoroso projeto de estudos sobre ecologia e genética das drosófilas brasileiras, visando a confirmar certos conceitos evolutivos. A iniciativa foi incentivada por Harry M. Miller Jr., da Fundação Rockefeller, que financiou o projeto.⁴

A tradição taxionômica era antiga entre nós, de modo que as espécies de drosófilas brasileiras foram competentemente escrutinizadas, o que levou à descoberta de várias espécies novas, dentre outras já descritas. Estudaram-se também comportamentos ecológicos contrastantes entre espécies que vivem em habitats diversos. Este surto de pesquisas pôs em evidência a genética de populações de drosófilas e, por contágio, a genética de populações humanas. O resultado é que vários biólogos que se tinham tornado drosofilistas bandearam-se para a genética humana e fortaleceram especialmente a genética antropológica.

Newton Freire-Maia foi provavelmente o primeiro brasileiro a publicar um trabalho de genética humana em uma revista dedicada à pesquisa genética. Isso o credencia como o pai da Genética Humana brasileira. Também a pas-

¹ Sobre o tema, ver: BEIGUELMAN, Bernardo. A genética humana no Brasil. *Ciência e Cultura*, 31:10, 1979. BEIGUELMAN, Bernardo. *Citogenética humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1982. BEIGUELMAN, Bernardo. *Farmacogenética e sistemas sanguíneos eritrocitários*. Campinas/Rio de Janeiro: FUNCAMP/Guanabara Koogan, 1983. BEIGUELMAN, Bernardo. *Dinâmica dos genes nas famílias e nas populações*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1996.

² DREYFUS, André. *Vida e Universo e outros ensaios*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1934.

³ Sobre André Dreyfus, ver: DOBZHANSKY, Theodosius. Dreyfus visto por Dobzhansky. Da palestra em homenagem a André Dreyfus, na Biblioteca Municipal Mário de Andrade em S. Paulo (01/09/1952). DOBZHANSKY, Theodosius. André Dreyfus e a Escola Brasileira de Biologia Geral. *Ciência e Cultura*, vol. IV (3 e 4), 1952. PAVAN, Crodowaldo. Homens e instituições - André Dreyfus. *Ciência e Cultura*, vol. IV (1 e 2), 1952. REIS, José. *André Dreyfus*. O caixeiro viajante da Ciência e outros 55 perfis (livro no prelo). VAZ, Zefferino. André Dreyfus. *Ciência e Cultura*, 31(8): 1979.

⁴ FERRARI, Nadir. Breve história da Fundação Rockefeller e de seu papel no desenvolvimento da genética humana brasileira. VI Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 1997.

⁵ FROTA-PESSOA, Oswaldo. Quem é Newton Freire Maia. *Revista Brasileira de Genética*, 11:25, 1988.

FROTA-PESSOA, Oswaldo. Newton Freire Maia. Conferência de abertura do 41º Congresso Nacional de Genética, *Revista Brasileira de Genética*, setembro de 1995.

⁶ FREIRE-MAIA, Newton & PINHEIRO Marta. *Displasias Ectodérmicas*. Curitiba: Centro de Estudos de Displasias Ectodérmicas, UFPR, 1984.

sagem da Genética Humana para a Genética Médica foi facilitada, no Brasil, por seus trabalhos.⁵ O Serviço de Aconselhamento Genético que prestava ao público desde 1957, em seu laboratório da Universidade Federal do Paraná, punha-o em contato com síndromes que era preciso diagnosticar. Isso o tornou um excelente geneticista médico, embora não fosse formado em medicina. Os artigos em que descreveu, com Marta Pinheiro, várias novas displasias ectodérmicas e os estudos que fez sobre esse grande grupo de afecções⁶ credenciou seu serviço como um laboratório de referência internacional sobre essas anomalias.

Em 1958, Newton Freire-Maia, Ademar Freire-Maia e Quelce Salgado organizaram, na Universidade Federal do Paraná, a primeira Reunião Brasileira de Genética Humana. O evento, que reuniu 64 trabalhos, foi uma espécie de fotografia instantânea que mostrava já possuímos centros de pesquisas universitários sólidos, embora em pequeno número. Nos Anais, publicados em 1959, são citados os nomes dos 280 participantes com indicação da cidade de origem. Não ocorreram novas reuniões como essa porque os geneticistas de todas as áreas passaram a se reunir nos congressos da Sociedade Brasileira de Genética (SBG), fundada em 1955.

Os sumários dos trabalhos apresentados foram divididos nos seguintes grupos:

- *Efeitos Biológicos das Radiações;*
- *Genética Médica;*
- *Problemas de Antropobiologia:* Grupos sangüíneos;
- *Estrutura Genética das Populações:*
I. Casamentos Consangüíneos. II. Isolados, Raças;
- *Temas Gerais de Genética Humana.*

Nas décadas de 1950 e 1960, um outro pioneiro, Pedro Henrique Saldanha, publicou artigos sobre polimorfismos humanos, casamentos consangüíneos, quebra de isolados e taxas de mutação em seres humanos. Em 1959, ele se tornou o primeiro professor de genética em uma faculdade de medicina brasileira, a da Universidade de São Paulo.

Um bom exemplo de pesquisa sobre genética de populações não-índias foi publicado por Saldanha e colaboradores⁷ tendo como referência uma colônia de holandeses radicados no Brasil. Foram determinadas as freqüências de certos genes e traços antropológicos para compará-los com as freqüências indicadas na literatura para os habitantes da Holanda.

⁷ SALDANHA, Pedro Henrique; FROTA-PESSOA, Oswaldo; EVELETH, Phyllis; OTTENSOSER, Fritz; CUNHA, Alda & CAVALCANTI, Marina. Estudo genético e antropológico de uma colônia de holandeses no Brasil. *Revista de Antropologia*, São Paulo, 8:1-42, 1960.

- ⁸ SALZANO, Francisco Mauro (Editor). *The ongoing evolution of Latin-American Populations*. Springfield: Charles C. Thomas, 1971.
- ⁹ SALZANO, Francisco Mauro. *The role of natural selection in human evolution*. Amsterdam: North-Rolland, 1975. SALZANO, Francisco Mauro. *Você e sua herança: questões básicas de genética e antropologia física*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1979. SALZANO, Francisco Mauro. *Genética odontológica*. São Paulo: T. A. Queiroz/Edusp, 1982. SALZANO, Francisco Mauro. *A genética e a lei: aplicações à medicina legal e à biologia social*. São Paulo: T. A. Queiroz/Edusp, 1983. SALZANO, Francisco Mauro. *Genética e farmácia*. São Paulo: Manole, 1990. SALZANO, Francisco Mauro & FREIRE-MAIA, Newton. *Populações Brasileiras: Aspectos Demográficos, Genéticos e Antropológicos*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1967. SALZANO, Francisco Mauro. *Problems in Biology: A study of Brazilian Populations*. Detroit: Wayne State University, 1970. SALZANO, Francisco Mauro & CALLEGARI-JACQUES, S. M. *South-American Indians: A Case Study in Evolution*. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- ¹⁰ MORTON, Newton E. Genetic Structure of Northeastern Brazilian Populations. In: SALZANO, F. M., (Editor) *Op. cit.*, 1971.
- ¹¹ FROTA-PESSOA, Oswaldo. Genética Humana: Estado presente e Perspectivas, *Ciência e Cultura*, 12 (1), 1960.
- ¹² FREIRE-MAIA, Newton & FREIRE-MAIA, Ademar. (2 vol.). *Genética Médica*. São Paulo: Desa/EDUSP, 1966. FREIRE-MAIA, Newton. *Radio genética Humana*. São Paulo: Blücher/EDUSP, 1972.

Francisco Mauro Salzano e seus colaboradores, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, associados a James V. Neel, da Universidade de Michigan, foram os que mais contribuíram para conquistarmos reconhecimento internacional em genética de populações de índios. Veja-se, por exemplo, que Salzano foi o organizador de um importante livro sobre o assunto publicado nos Estados Unidos⁸, entre outras obras relevantes de sua autoria⁹.

Também foi-se aprofundando a Genética de Transmissão (normal e médica), que estuda em que proporções os genes passam de pais a filhos e se distribuem na prole. A Genética de Transmissão fornece a base para o aconselhamento genético.

Os primeiros projetos em Genética Humana

Na década de 1950, a genética de populações e a de transmissão foram objetos de um sólido projeto de pesquisas feito com famílias de nordestinos que passavam dias na Hospedaria de Imigrantes de São Paulo até se distribuírem, como trabalhadores, pelas fazendas. Este projeto longo e produtivo foi iniciado por Saldanha e depois ampliado pelas equipes de Newton E. Morton e de Henrique Krieger, projeto que rendeu vários trabalhos como o de Morton.¹⁰

Ainda a partir da década de 1950, a Organização dos Estados Americanos (OEA) financiou, por vários anos, o Programa Multinacional de Genética com o objetivo de graduar mestres e doutores em genética, provenientes de outros países latino-americanos. O Chile se encarregou da genética animal; a Argentina, da vegetal e o Brasil da genética humana e médica. Vários mestres e doutores formados por esse programa ajudaram a desenvolver pesquisas em seus países, ou naqueles em que se graduaram. Tal programa também possibilitou o contrato de professores visitantes por alguns meses para dar cursos e colaborar nas pesquisas em andamento.

Na década de 50 a genética humana estendeu-se, no mundo, com vigor. A quantidade de artigos publicados em 1959 foi mais ou menos o dobro da publicada em 1949.¹¹ No Brasil o número de centros de pesquisas em genética humana aumentava rapidamente e começaram a ser divulgados livros didáticos sobre o assunto.¹²

Ao longo dos anos, geneticistas brasileiros exerceram a função de especialistas consultantes da Organização das Nações Unidas (ONU) e/ou da Organização Mundial de Saúde (OMS) e participavam das suas reuniões técnicas.

FREIRE-MAIA, Newton. *Genética de Populações Humanas*. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1974.

FREIRE-MAIA, Newton. *Tópicos de Genética Humana*. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1976.

FREIRE-MAIA, Newton. *Efeito Genético das Radiações no Homem*. São Paulo: Hucitec/UNESP, 1982.

FREIRE-MAIA, Newton. *Teoria da evolução: de Darwin à teoria sintética*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Edusp, 1988.

BEÇAK, Willi & FROTA-PESSOA, Oswaldo (organizadores). *Introdução à Genética Médica*, 1ª. edição. São Paulo: Fundo Editorial Prociens, 1968. *Genética Médica*. 2ª. e 3ª. edições. São Paulo: Sarvier, 1973 e 1977.

BEIGUELMAN, Bernardo. *Genética Humana*. São Paulo: Edart, 1979.

Os serviços de aconselhamento genético e a Genética Clínica

O Aconselhamento Genético é um ato clínico que serve para orientar os consulentes sobre algum risco de anormalidade genética que possa existir em sua família. Por exemplo, se uma criança apresenta defeitos ou afecções atribuíveis a um fator genético, o especialista: a) examina o paciente para perceber o conjunto de sintomas presentes; b) colhe informações sobre todos os membros da família para verificar se algum deles apresenta sinais do mesmo distúrbio, ainda que atenuados; c) por meio de consulta bibliográfica, se necessário, trata de diagnosticar a síndrome em questão; d) com esses dados, monta um heredograma (a genealogia do defeito) tentando elucidar o tipo de transmissão do gene em questão; e) daí ele deduz a probabilidade de que uma nova criança da família nasça com o mesmo distúrbio; f) chega então o momento de explicar aos consulentes a natureza do problema e o risco de que um novo membro da família venha a nascer com o mesmo defeito. Tendo compreendido todos os aspectos do problema, compete à família, e não ao profissional, decidir se evitará nova gravidez ou não.

No início da formação dos serviços de aconselhamento genético, a tarefa era árdua porque os médicos não sabiam genética, nem os geneticistas sabiam medicina. Mesmo assim, sob a influência dos clínicos que referiam os pacientes aos laboratórios de genética humana das universidades começaram a surgir, no fim da década de 1950, novos serviços de aconselhamento genético. A solução foi que os atendimentos contassem com a colaboração dos dois tipos de profissionais. Para esses viajantes em oceanos desconhecidos foi um enorme auxílio a publicação, em 1966, da primeira edição do catálogo de distúrbios genéticos de Victor McKusick. Consultando-o a propósito dos consulentes de aconselhamento genético, os geneticistas humanos iam aprendendo genética clínica e os médicos, por sua vez, interessavam-se pelos riscos genéticos expressos estatisticamente. De qualquer modo, à medida que os pioneiros aprendiam, aprendiam também os seus discípulos. Surgiam, assim, os serviços de aconselhamento genético multidisciplinar, que incluíam geneticistas, médicos e até psicólogos.

Vários dos médicos que freqüentavam esses serviços ao lado de biólogos geneticistas optaram por fazer curso de pós-graduação em genética e abrir centros de pesquisas sobre distúrbios hereditários e consultórios especializados em

genética clínica. Em resposta à expansão da genética na medicina, o Conselho Federal de Medicina credenciou, em 1983, a Genética Clínica como uma especialidade médica e, em 1986, fundou-se a Sociedade Brasileira de Genética Clínica.

Para o Brasil, John M. Opitz representou, e ainda representa com imensa capacidade e dedicação, papel semelhante ao de Dobzhansky na origem da difusão da genética de populações. Como editor do *American Journal of Medical Genetics*, estendeu aos brasileiros a mesma atenção que sempre dedicou a todos os colaboradores da revista, animando-nos a publicar nossas pesquisas e revendo pacientemente nossos manuscritos, tanto a substância quanto a linguagem. Opitz esteve no Brasil várias vezes, enriquecendo nossas reuniões, dando cursos e trabalhando lado a lado conosco no atendimento de consulentes. Em uma de suas visitas escreveu o texto de seu curso e permitiu que a Sociedade Brasileira de Genética o publicasse em português como livro.¹³

¹³ OPITZ, John Marius. (Traduzido do manuscrito por FROTA-PESSOA, O. & GROSSO, N. S. L.) *Tópicos Recentes de Genética Clínica*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1984.

No fim da década de 1950, iniciou-se a revolução citogenética. Os laboratórios brasileiros, como os do resto do mundo, não tardaram a se lançar à caça das anomalias cromossômicas relacionadas com diferentes síndromes.

A produção de artigos brasileiros de pesquisas foi aumentando rapidamente no campo novo da citogenética. Os laboratórios se municiaram com bons microscópios e passaram a investigar os cromossomos dos clientes que se apresentavam para aconselhamento genético. Isso fortalecia nosso relacionamento com o público e incentivava a publicação, em boas revistas, de novas síndromes cromossômicas.

A citogenética brasileira teve grande expansão e estimulou três áreas conexas: a citogenética descritiva e evolutiva de vertebrados, o aconselhamento genético e a genética médica. Em 1964, o Brasil realizou um simpósio internacional sobre citogenética, que resultou em um livro publicado no estrangeiro.¹⁴

¹⁴ PAVAN, Crodowaldo; CHAGAS, Carlos F. & FROTA-PESSOA, Oswaldo (organizadores). *Mammalian Cytogenetics and related problems in Radiobiology*. Oxford: Pergamon Press, 1964.

A repercussão no Brasil do episódio Lysenko e da eugenia

O episódio que envolveu Trofim Denisovich Lysenko, com sua crítica ao mendelismo, teve repercussão no Brasil e causava indignação a Dreyfus, que era muito emocional. Freire-Maia nos conta:

“... cheguei a uma sala onde se desenrolava uma acesa discussão entre Dreyfus e ele [Frota]. Cada qual gritava de seu lado. O Dreyfus, obviamente, gritava alto e o Frota gritava baixo. Assustado com a veemência da disputa, arrisquei uma pergunta: – Mas, afinal, que é que vocês estão discutindo?

– Sobre Lysenko!!!

– Mas, dos dois, quem é a favor dele? – perguntei.

E a resposta do Frota iluminou o ambiente, por ela mesma e pelo sorriso dele:

– Ué, ninguém! Todo mundo é contra ...”.¹⁵

De fato, os que aprovavam Lysenko eram uma minoria movida pela ideologia stalinista e por resquícios de lamarckismo.

Havia uma aderência à eugenia, compreendida como uma técnica para melhorar o patrimônio genético da humanidade. A genética de transmissão ainda estava insegura, de modo que muitos pensavam que a natureza humana poderia ser aperfeiçoada, na prática, com programas de esterilizações compulsórias, que realmente foram implementadas, por exemplo, nos Estados Unidos. Além disso, os nazistas a incluíram em sua ideologia racial para justificar o holocausto.

Em 1929, realizara-se o Primeiro Congresso Brasileiro de Eugenia. Isso sugere que grande parte dos intelectuais da época simpatizava com a eugenia tosca, que foi depois desmoralizada pelos progressos da genética e substituída pelo aconselhamento genético.¹⁶

¹⁵ FREIRE-MAIA, Newton. *O que passou e permanece* (autobiografia). Curitiba: Editora da UFPR, 1995. p. 147.

¹⁶ FROTA-PESSOA, Oswaldo. Quem tem medo de eugenia? *Revista USP*, São Paulo, (24):38-45, 1994.

FROTA-PESSOA, Oswaldo. Temas incandescentes. In: DE BONI, L. A.; JACOB, G. & SALZANO, F. M. (org.). *Ética e Genética*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.

Oswaldo Frota-Pessoa é biólogo, médico e professor emérito do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

betefrota@uol.com.br

GENÔMICA NO BRASIL UMA NOVA ERA NA BIOLOGIA

Anamaria Aranha Camargo

*N*o dia 22 de julho de 2002, uma reportagem na renomada revista norte-americana *The Economist* anunciava: “Samba, futebol e... genômica. A lista de aspectos pelos quais o Brasil é reconhecido foi recentemente ampliada”. O destaque foi dado à conclusão dos dois primeiros projetos genoma executados no Brasil, frutos do trabalho de centenas de pesquisadores paulistas que integravam a Rede ONSA (Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis). Trata-se de um Instituto Virtual de pesquisa, sem sede física, criado com o apoio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e formado por mais de 30 laboratórios interligados pela Internet. Essa idéia inusitada, que tem servido de modelo para outros países que se iniciam na área, propiciou a estréia do Brasil no cenário da genômica e, conseqüentemente, da bioinformática ou biologia computacional.

Da genética ao genoma

O termo *genoma* é utilizado para designar o conjunto de genes e seqüências regulatórias de um dado organismo. Os genes, por sua vez, carregam as informações genéticas que determinam todas as características de um organismo e a sua existência foi inicialmente inferida nos experimentos realizados por Gregor Mendel em 1865. Através de estudos de cruzamentos entre diferentes tipos de ervilhas, Mendel verificou que certas características físicas dessas plantas eram transmitidas de geração para geração, propondo então a existência de “fatores” que seriam responsáveis por essa transmissão. Por volta de 1902, Walter Sutton e Theodor Boveri verificaram que o padrão de herança dos “fatores” descritos por Mendel acompanhava a segregação dos cromossomos de células em divisão. Já em 1915, Thomas Morgan concluiu que estes “fatores” estavam organizados de maneira linear nos cromossomos e, assim, propôs, pela primeira vez, a correlação entre um gene (*genótipo*) e uma característica física (*fenótipo*).

A natureza química dos genes, entretanto, só foi revelada na década de 40 e 50 através de experimentos que demonstraram que os genes estavam contidos na molécula de DNA. Em 1953, James Watson e Francis Crick determinaram a estrutura física do DNA e o modelo proposto da dupla fita foi fundamental para a compreensão do mecanismo de transmissão e execução da informação genética. Após quatro anos, Crick e George Gamow estabeleceram o dogma central da biologia molecular (DNA-RNA-proteína) e, assim, propuseram um modelo através do qual a informação genética contida no DNA seria transmitida e executada pela célula. Já em 1966, Marshall Nirenberg, Heinrich Mathaei e Severo Ochoa demonstraram que seqüências sucessivas de três nucleotídeos do DNA (códon) determinavam a seqüência de aminoácidos de uma proteína. Estava, então, desvendado o código genético.

Com o desenvolvimento das técnicas de manipulação do DNA (técnicas do DNA recombinante) e, em especial, da técnica de seqüenciamento, tornou-se possível isolar e determinar a seqüência dos genes. Conseqüentemente, durante as décadas de 70, 80 e 90, as seqüências de milhares de genes de diferentes organismos foram determinadas. Em 1979, biólogos e matemáticos reuniram-se na Rockefeller University e propuseram a construção de um banco de dados para armazenar as seqüências de DNA produzidas pelos diversos grupos. O objetivo da construção deste banco era

que os pesquisadores pudessem disponibilizar e comparar suas seqüências com dados de outros grupos. Em 1981, foi criado, então, o EMBL Database (European Molecular Biology Laboratory Database) e, em 1982, o GenBank. Já no final de 1990 o GenBank armazenava mais de 50 milhões de nucleotídeos contidos em 40 mil seqüências de DNA.

Com os novos recursos disponíveis, foram dissecados vários mecanismos biológicos, como por exemplo a replicação do DNA, a divisão celular e o desenvolvimento embrionário. Cientistas das mais diversas áreas começaram a utilizar as ferramentas da biologia molecular para responder perguntas específicas dentro de suas linhas de pesquisa e passaram, desta forma, vários anos estudando um conjunto particular e restrito de genes.

O nascimento da genômica e da bioinformática

No início da década de 80, isolar e caracterizar o conjunto completo de genes de um organismo parecia um objetivo muito distante. A forma manual e limitada com que os dados de seqüenciamento eram gerados e analisados apresentava-se como o fator limitante. A situação só foi revertida com o desenvolvimento dos primeiros seqüenciadores semi-automáticos de DNA. A preparação do DNA continuava sendo feita de forma manual, mas a aquisição e o processamento dos dados de seqüenciamento passaram a ser automatizados e informatizados.

Em 1995, um grupo de 30 pesquisadores do Instituto para Pesquisa Genômica (The Institute for Genomic Research – TIGR) liderados por Craig Venter e em colaboração com pesquisadores da Universidade John Hopkins, da Universidade Estadual de Nova Iorque, em Buffalo, e do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (National Institute for Standards and Technology) publicaram a seqüência completa dos 1.8 milhões de nucleotídeos que compunham o material genético da bactéria *Haemophilus influenzae*. Nascia, assim, a genômica, uma ciência voltada para a produção e análise de seqüências de DNA de genomas completos.

Alguns meses depois, um grupo de somente 5 pesquisadores concluiu, em apenas 8 semanas, o seqüenciamento do genoma de 580kb do *Mycoplasma genitalium*. Desde então, o número de genomas completamente seqüenciados não pára de crescer. Com o desenvolvimento da tecnologia de seqüenciamento e o aperfeiçoamento dos programas para análise de dados, tem sido possível seqüenciar genomas cada vez maiores e mais complexos. Em 1997, mais um

marco foi alcançado com a publicação da seqüência completa do primeiro organismo eucarionte, a levedura. Desde então, cresce a lista de genomas eucariontes completamente seqüenciados: *C. elegans*, *Drosophila*, *Arabidopsis*, *Plasmodium* e, finalmente, o genoma humano.

A automatização e a informatização do processo de seqüenciamento foram essenciais, não só para aumentar a quantidade dos dados disponíveis, mas, principalmente, para viabilizar o desenvolvimento de ferramentas computacionais que permitissem a manipulação e a análise sistemática dos dados gerados. Nascia, assim, a irmã gêmea da genômica: a bioinformática.

A bioinformática é uma área multidisciplinar que envolve biólogos, físicos, técnicos em computação e é comumente dividida em duas escolas: a de desenvolvimento de novos algoritmos e ferramentas e a de análise e interpretação de dados. O termo bioinformática apareceu na literatura pela primeira vez em 1991, mas, hoje em dia, parece difícil imaginar a época em que bancos de dados de seqüências e ferramentas de análise não estavam disponíveis através da Internet.

A genômica no Brasil

Em 1998, a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) criou a Rede ONSA (Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis) com o objetivo ambicioso de formar uma rede de cientistas brasileiros especializados em uma das áreas mais promissoras e inovadoras da Biologia: a genômica. Ao contrário dos demais centros de seqüenciamento do mundo, a Rede ONSA é um Instituto Virtual de seqüenciamento, sem sede física, e formada por mais de 30 laboratórios de diferentes instituições de pesquisa do Estado de São Paulo que estão interligados pela Internet.

A idéia de criar um Instituto Virtual, proposta pelo Diretor Científico da FAPESP, professor José Fernando Perez, foi inovadora e vem sendo utilizada como modelo para outros países que começam a se aventurar na área da genômica. Por não haver necessidade de gastos com a construção de prédios e contratação de cientistas, o conceito de Instituto Virtual permitiu que todos os recursos destinados ao projeto fossem gastos em equipamentos de última geração, reagentes e treinamento de pessoal. A criação da rede permitiu, ainda, que o projeto fosse agilizado e executado em tempo menor que o previsto. Mais importante do que isso, no entanto, foi o estímulo oferecido aos diferentes

grupos de pesquisa para atuarem de forma colaborativa e integrada. Este espírito colaborativo entre os pesquisadores foi intenso e elogiado pelo comitê estrangeiro que fazia a avaliação do projeto.

O primeiro desafio da Rede ONSA foi realizar o seqüenciamento completo do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*. Essa bactéria vive no interior do xilema da laranjeira e é o agente causador da doença popularmente conhecida como amarelinho. A escolha do organismo foi justificada pela associação da bactéria com uma doença de impacto significativo na economia do Estado de São Paulo, um dos maiores produtores de laranjas do mundo. O projeto foi coordenado pelo Dr. Andrew J. G. Simpson do Instituto Ludwig de Pesquisa sobre o Câncer e durou, aproximadamente, dois anos de intenso trabalho e aprendizado. O trabalho resultou na publicação de um artigo científico na revista *Nature* e relatava, pela primeira vez, o seqüenciamento completo do genoma de um fitopatógeno. Características importantes da bactéria foram inferidas a partir do conjunto de genes identificados no projeto, servindo, desta forma, de base para futuros estudos funcionais aplicados voltados para o combate à doença.

O projeto genoma da *Xylella* marcou a estréia do Brasil no cenário da genômica. O próximo desafio era manter o sucesso obtido no primeiro projeto e, se possível, ampliar ainda mais os conhecimentos e os méritos alcançados na área. Esse objetivo não foi difícil, uma vez que na seqüência três grandes projetos foram iniciados: o Projeto Genoma da *Xanthomonas campestris*, o Projeto Genoma Humano do Câncer e o Projeto Genoma da Cana de Açúcar. Novos grupos foram incorporados à Rede ONSA, os projetos acabaram superando as expectativas iniciais e, conseqüentemente, o reconhecimento nacional e internacional foi obtido. Outros projetos foram concluídos ou ainda estão em andamento: Projeto Genoma de uma segunda cepa de *Xylella fastidiosa* causadora da doença de Pierce, Projeto Genoma de *Leifsonia xyli* e Projeto Genoma de *Schistossoma mansoni*. A genômica definitivamente se estabeleceu no Estado de São Paulo e a tecnologia e treinamento adquiridos passaram a ser aplicados em outras áreas não diretamente relacionadas aos projetos genomas, estendendo-se a um número cada vez maior de pesquisadores.

Como não poderia deixar de ser, o estabelecimento da genômica trouxe, também, o domínio da bioinformática. Laboratórios pioneiros liderados pelos pesquisadores João Setúbal, João Meidanis, João Paulo Kitajima e Sandro J. de

Souza coordenaram a bioinformática dos primeiros projetos genomas. Considerando-se que a disponibilidade de pessoas treinadas nessa área era limitada, o desafio ganhava ainda maior relevância. No entanto, esses laboratórios são hoje centros de referência no Brasil e no exterior e a formação em bioinformática passou a ser uma das prioridades dos cursos de graduação e pós-graduação.

Reconhecendo a importância da genômica e incentivado pelo sucesso dos projetos em São Paulo, o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e o MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) lançaram o Projeto Genoma Nacional. A criação de uma rede nacional de laboratórios de seqüenciamento era um projeto ambicioso dadas as grandes extensões territoriais. O alvo seria novamente um genoma bacteriano, mas, dessa vez, de importância ambiental. Como organismo alvo foi escolhida a bactéria *Chromobacterium violaceum* que vive nas águas de rios amazônicos e tem como característica principal a capacidade de produção de violaceína – um pigmento com atividade bactericida. A rede de seqüenciamento nacional foi estabelecida rapidamente cobrindo o país de norte a sul. Prevalecendo mais uma vez o espírito colaborativo e o trabalho dedicado, o sucesso foi merecidamente alcançado. Paralelamente à rede nacional, foram criadas as redes regionais de seqüenciamento, de modo que podemos definitivamente afirmar que o Brasil é, também, o país da genômica. A exemplo do futebol, já podemos nos considerar pentacampeões e tudo isso em menos de cinco anos. E ainda temos uma seleção formada por centenas de pesquisadores e técnicos altamente qualificados, prontos para encarar novos desafios.

A genômica e a formulação de hipóteses

Ao contrário das demais áreas da biologia, a genômica não está atrelada à forma convencional de se fazer ciência, que consiste em formular hipóteses para solucionar problemas pontuais. Na área da genômica, a formulação de hipóteses é, em um primeiro momento, irrelevante, pois não é possível formular hipóteses com base no desconhecido, da mesma forma que não podemos interpretar um livro sem ler todos os seus capítulos. A formulação de hipóteses passa a ser, então, uma segunda etapa, dependente da descoberta dos genes, da caracterização do genoma e do processamento dos dados com o auxílio de recursos computacionais. Desta forma, a genômica não pode ser entendida como um produto final, mas sim como um meio para formular hipóteses e resolver problemas mais abrangentes e complexos.

A genômica está mudando de forma definitiva os horizontes da biologia e da medicina; o grande desafio das próximas décadas será o desenvolvimento de métodos experimentais em larga escala voltados para a validação das hipóteses formuladas *in silico*. Já é possível, por exemplo, identificar alterações no funcionamento de mais de mil genes da levedura quando esta é cultivada em um meio nutricional específico. Da mesma forma, pode-se determinar o perfil genético de uma célula tumoral e, com base no padrão de genes expressos, obter informações sobre a agressividade do tumor e a resposta ao tratamento. Além disso, já é possível escolher, de forma mais eficiente, genes candidatos à vacina contra patógenos humanos analisando diretamente o conjunto de genes que codificam proteínas de superfície em bactérias patogênicas como, por exemplo, a *Streptococcus pneumoniae*. Em um futuro não muito distante, acredita-se que os formuladores de hipóteses revolucionárias serão os cientistas que dominam e promovem o desenvolvimento da genômica e da biologia computacional. Que bom que o Brasil é também o país da genômica!

Anamaria Aranha Camargo é bióloga, pesquisadora-assistente do Laboratório de Genética do Câncer do Instituto Ludwig, em São Paulo e coordenadora do projeto Transcript Finishing Initiative Ludwig/FAPESP.
anamaria@compbio.ludwig.org.br

CLONAGEM HUMANA E BANCOS DE CORDÃO PARA OBTENÇÃO DE CÉLULAS-TRONCO

Mayana Zatz

Desde o anúncio da ovelha Dolly, o primeiro mamífero clonado a partir da transferência do núcleo de uma célula somática para um óvulo sem núcleo, assuntos relacionados com clonagem humana e células-tronco têm sido publicados constantemente pela imprensa. A maioria dos cientistas é contra a clonagem reprodutiva, considerando-se o risco gigantesco de se gerarem fetos anormais ou crianças com doenças genéticas graves. Entretanto, o uso dessa tecnologia para obtenção de células-tronco poderá ser altamente benéfica para fins terapêuticos, sendo por isso defendida pela maioria das pessoas. Mas a clonagem terapêutica é apenas uma das maneiras de se conseguir células-tronco. O sangue de cordão umbilical e da placenta é rico nessas células, o que torna a criação de bancos de cordão públicos uma prioridade. Quais as diferenças entre clonagem reprodutiva e clonagem terapêutica? Quais as fontes de células-tronco e como as pesquisas com células-tronco embrionárias podem ser importantes para o tratamento de doenças neurodegenerativas?

Os clones naturais e a grande revolução promovida pela ovelha Dolly

A clonagem é um mecanismo comum de propagação da espécie em plantas ou bactérias. O termo clone foi definido por Herbert J. Webber, em 1903, como uma população de moléculas, células ou organismos que se originaram de uma única célula e que são idênticas à célula original e entre elas.¹ Em humanos, os clones naturais são os gêmeos idênticos que se originam da divisão de um óvulo fertilizado. A grande novidade da ovelha Dolly, que abriu caminho para a possibilidade de clonagem humana, foi a demonstração, pela primeira vez, de que era possível clonar um mamífero, isto é, produzir uma cópia geneticamente idêntica, a partir de uma “célula somática diferenciada”. Para entendermos porque esta experiência foi surpreendente, precisamos recordar um pouco de embriologia.

Todos nós já fomos uma célula única, resultante da fusão de um óvulo e um espermatozóide. Essa primeira célula já tem no seu núcleo o DNA com toda a informação genética para gerar um novo ser. O DNA nas células fica extremamente condensado e organizado em cromossomos. Com exceção das nossas células sexuais (o óvulo e o espermatozóide que tem 23 cromossomos), todas as outras células do nosso corpo possuem 46 cromossomos. Em cada célula, temos 22 pares que são iguais nos dois sexos, chamados autossomos e um par de cromossomos sexuais: XX no sexo feminino e XY no sexo masculino. Estas células com 46 cromossomos são chamadas *células somáticas*. Voltemos agora à nossa primeira célula resultante da fusão do óvulo e do espermatozóide. Logo após a fecundação, ela começa a se dividir: uma célula em duas, duas em quatro, quatro em oito e assim por diante. Na fase de 8 a 16 células, as células do embrião se diferenciam em dois grupos: um grupo de células externas que vão originar a placenta e anexos embrionários, e uma massa de células internas que vai originar o embrião propriamente dito. Após 72 horas, esse embrião, agora com cerca de 100 células, é chamado de *blastocisto*. É nesta fase que ocorre a implantação do embrião na cavidade uterina. As células externas do blastocisto vão originar as centenas de tecidos que compõem o corpo humano. São chamadas *células-tronco totipotentes*. A partir de um determinado momento, essas células somáticas, que ainda são todas iguais, começam a se diferenciar nos vários tecidos que vão compor o organismo: sangue, fígado, músculos, cérebro, ossos etc. Os genes que controlam essa diferenciação

¹ In PASSARGE, E. *Color Atlas of Genetics*. New York: Thieme Medical Publishers, 1995.

e o processo pelo qual isto ocorre ainda é um mistério. O que sabemos é que, uma vez diferenciadas, as células somáticas perdem a capacidade de originar qualquer tecido. As células descendentes de uma célula diferenciada vão manter as mesmas características daquela que as originou, isto é, células de fígado vão originar células de fígado, células musculares vão originar células musculares e assim por diante. Apesar do número de genes e do DNA ser igual em todas as células do nosso corpo, os genes nas células somáticas diferenciadas se expressam de maneiras diferentes em cada tecido, isto é, a expressão gênica é específica para cada tecido. Com exceção dos genes responsáveis pela manutenção do metabolismo celular (*housekeeping genes*), que se mantêm ativos em todas as células do organismo, só irão funcionar em cada tecido ou órgão os genes importantes para a manutenção deste. Os outros se mantêm “silenciados” ou inativos.

O processo de clonagem reprodutiva

A grande notícia da Dolly foi justamente a descoberta de que uma célula somática de mamífero, já diferenciada, poderia ser reprogramada ao estágio inicial e voltar a ser totipotente. Isto foi conseguido através da transferência do núcleo de uma célula somática da glândula mamária da ovelha que originou a Dolly para um óvulo enucleado. Surpreendentemente, este começou a se comportar como um óvulo recém-fecundado por um espermatozóide. Isto provavelmente ocorreu porque o óvulo, quando fecundado, tem mecanismos – para nós ainda desconhecidos – para reprogramar o DNA de modo a tornar todos os seus genes novamente ativos, o que ocorre no processo normal de fertilização.

Para obtenção de um clone, esse óvulo enucleado no qual foi transferido o núcleo da célula somática, foi inserido em um útero de uma outra ovelha. No caso da clonagem humana reprodutiva, a proposta seria retirar-se o núcleo de uma célula somática, que teoricamente poderia ser de qualquer tecido de uma criança ou adulto, inserir esse núcleo em um óvulo e implantá-lo em um útero (que funcionaria como uma barriga de aluguel). Se esse óvulo se desenvolver, teremos um novo ser com as mesmas características físicas da criança ou adulto de quem foi retirada a célula somática. Seria como um gêmeo idêntico nascido posteriormente.

Já sabemos que não é um processo fácil. Dolly só nasceu depois de 276 tentativas que fracassaram. Além disso, entre as 277 células da “mãe” de Dolly que foram

inseridas em um óvulo sem núcleo, 90% não alcançaram nem o estágio de blastocisto. A tentativa posterior de clonar outros mamíferos tais como camundongos, porcos e bezerras também têm mostrado uma eficiência muito baixa e uma proporção muito grande de abortos e embriões malformados. Penta, a primeira bezerra brasileira clonada a partir de uma célula somática adulta, em 2002, morreu com um pouco mais de um mês. Ainda em 2002, foi anunciada a clonagem do Copycat, o primeiro gato de estimação clonado a partir de uma célula somática adulta. Para isto foram utilizados 188 óvulos que geraram 87 embriões e apenas um animal vivo. Mas o mais surpreendente é que Copycat é diferente do clone que o originou. E, então, vem a pergunta óbvia: Clonar para quê? Na realidade, experiências recentes com diferentes modelos animais têm mostrado que essa reprogramação dos genes para o estágio embrionário – o processo que originou Dolly – é extremamente difícil.

Ian Wilmut, o cientista escocês que se tornou famoso por essa experiência, afirma que praticamente todos os animais clonados nos últimos anos estão com problemas. Entre os diferentes defeitos observados nos pouquíssimos animais que nasceram vivos após inúmeras tentativas, observam-se: telômeros encurtados; placentas anormais; gigantismo em ovelhas e gado; defeitos cardíacos em porcos; problemas pulmonares em vacas, ovelhas e porcos; problemas imunológicos; falha na produção de leucócitos; defeitos musculares em carneiros.

Outro fato intrigante é que ainda não se tem notícias de macaco ou cachorro que tenha sido clonado. Talvez seja por isto que a cientista inglesa Ann McLaren afirme que as falhas na reprogramação do núcleo somático possam se constituir em uma barreira intransponível para a clonagem humana.

Mesmo assim, pessoas como o médico italiano Antonori defendem a clonagem humana para gerar herdeiros para quem não pode ter filhos pelo método natural, um procedimento que tem sido proibido em todos os países. O fato é que a simples possibilidade de clonar humanos tem suscitado discussões éticas em todos os segmentos da sociedade, tais como:

Por que clonar?

Quem deveria ser clonado ?

Quem iria decidir?

Quem será o pai ou a mãe do clone?

O que fazer com os clones que nascerem defeituosos?

Na realidade, o maior problema ético atual é o enorme risco biológico associado à clonagem reprodutiva. No meu entender, seria a mesma coisa que discutir os prós e os contras em relação a uma medicação nova, cujos efeitos são devastadores e ainda totalmente incontrolláveis.

Apesar de todos esses argumentos contra a clonagem humana reprodutiva, experiências com animais clonados têm-nos ensinado muito acerca do funcionamento celular. Por outro lado, a tecnologia de transferência de núcleo para fins terapêuticos, a chamada “clonagem terapêutica”, poderá ser extremamente útil para obtenção de células-tronco.

A técnica de clonagem terapêutica para obtenção de células-tronco

Se pegarmos esse mesmo óvulo cujo núcleo foi substituído por um de uma célula somática e, em vez de inseri-lo em um útero, deixarmos que ele se divida no laboratório, teremos a possibilidade de usar essas células (que são totipotentes) para fabricar diferentes tecidos. Isto abriria perspectivas fantásticas para futuros tratamentos porque hoje só se consegue cultivar em laboratório células com as mesmas características do tecido de que foram retiradas. É importante que as pessoas entendam que na clonagem para fins terapêuticos serão gerados só tecidos, em laboratório, sem implantação no útero. Não se trata de clonar um feto até alguns meses dentro do útero para depois retirar-lhe os órgãos como alguns acreditam.

A clonagem terapêutica teria a vantagem de evitar rejeição se o doador fosse a própria pessoa. Seria o caso por exemplo de reconstituir a medula em alguém que se tornou paraplégico após um acidente ou para substituir o tecido cardíaco em uma pessoa que sofreu um infarto. Entretanto, essa técnica tem suas limitações. A primeira é a disponibilidade de óvulos humanos. Como a eficiência do processo ainda é muito baixa, seria necessário usar dezenas ou talvez até centenas de óvulos para produzir um tecido. Além disso, a técnica não serviria para portadores de doenças genéticas, pois a mutação patogênica causadora da doença está presente em todas as células. Seria o caso por exemplo de um afetado por distrofia muscular progressiva que necessita substituir seu tecido muscular. Além disso, não sabemos, no caso de uma pessoa idosa, por exemplo com doença de Alzheimer, se as células clonadas teriam a mesma idade do doador ou seriam células jovens. Uma outra questão em

aberto seria a reprogramação dos genes que poderiam inviabilizar o processo dependendo do tecido ou do órgão a ser substituído. Em resumo, por mais que sejamos favoráveis à clonagem terapêutica, trata-se de uma tecnologia muito cara e com limitações importantes. Por esse motivo, a grande esperança vem não da clonagem mas da utilização de células-tronco de outras fontes.

As outras fontes de células-tronco

Indivíduos adultos

Existem células-tronco em vários tecidos (como medula óssea, sangue, fígado) de crianças e adultos. Entretanto, a quantidade é pequena e não sabemos se elas são *totipotentes* (capazes de gerar qualquer tecido) ou *pluripotentes* (capazes de originar só alguns tecidos). A maior limitação é que elas não serviriam para portadores de doenças genéticas. Neste sentido, é importante lembrar que as doenças genéticas afetam 3-4% das crianças que nascem. Ou seja, mais de cinco milhões de brasileiros, para uma população atual de 170 milhões de pessoas. É verdade que nem todas as doenças genéticas poderiam ser tratadas com células-tronco, mas, se pensarmos somente nas doenças neuromusculares degenerativas, que afetam 1 em cada 1.000 pessoas, estamos falando de quase 200 mil pessoas.

Cordão umbilical e placenta

Pesquisas recentes vêm mostrando que o sangue do cordão umbilical e da placenta são ricos em células-tronco. Entretanto, também não sabemos se essas células são pluri ou totipotentes. Se as pesquisas com células-tronco de cordão umbilical derem os resultados esperados, isto é, se forem capazes de regenerar tecidos ou órgãos, esta será certamente uma grande notícia porque não estariam envolvidas questões éticas. Teríamos, então, que resolver o problema de compatibilidade entre as células-tronco do cordão doador e o receptor. Para tanto, será necessário criar, com a maior urgência, bancos de cordão públicos. Isto porque se sabe hoje que, se tivermos cerca de 10 a 12 mil amostras de cordão em um banco, a chance de achar um compatível é de praticamente 100%. Experiências recentes já demonstraram que o sangue do cordão umbilical é o melhor material para substituir a medula em casos de leucemia. Por isso, a criação de bancos de cordão é uma prioridade que já se justifica somente para o tratamento de doenças sangüíneas, mesmo antes de sabermos o resultado de outras pesquisas.

Células embrionárias

Se as células-tronco de cordão não forem totipotentes, a alternativa será o uso de células-tronco embrionárias obtidas de embriões não utilizados que são descartados em clínicas de fertilização. Os opositores ao uso de células embrionárias para fins terapêuticos argumentam que a prática poderia gerar um comércio de óvulos ou que haveria destruição de “embriões humanos” e que não é ético destruir uma vida para salvar outra.

Aspectos éticos

Apesar desses argumentos, a clonagem, ou a técnica de transferência de núcleos para fins terapêuticos, é apoiada pela maioria dos cientistas e principalmente pelas pessoas que poderão se beneficiar por essa técnica. Em relação àqueles que acham que a clonagem terapêutica pode abrir caminho para a clonagem reprodutiva, devemos lembrar que existe uma diferença intransponível entre os dois procedimentos: a implantação ou não em um útero humano. Se pensarmos que qualquer célula humana pode ser teoricamente clonada e gerar um novo ser, poderemos chegar ao exagero de achar que toda vez que tiramos a cutícula ou arrancamos um fio de cabelo estamos destruindo uma vida humana em potencial. Afinal, o núcleo de uma célula da cutícula poderia ser colocada em um óvulo enucleado, inserido em um útero e gerar uma nova vida!

Por outro lado, a cultura de tecidos é uma prática comum em laboratório, apoiada por todos. A única diferença, no caso, seria o uso de óvulos (que quando não fecundados são apenas uma célula) que permitiriam a produção de qualquer tecido no laboratório. Ou seja, em vez de se poder produzir apenas um tipo de tecido, já especializado, o uso de óvulos permitiria fabricar qualquer tipo de tecido. O que há de antiético nisto?

Quanto ao comércio de óvulos, não seria a mesma coisa que ocorre hoje com transplante de órgãos? Não é mais fácil doar um óvulo do que um rim? Cada uma de nós pode se perguntar: você doaria um óvulo para ajudar alguém? Para salvar uma vida?

Em relação à destruição de “embriões humanos”, novamente devemos lembrar que estamos falando de cultivar tecidos ou futuramente órgãos a partir de embriões que são normalmente descartados, que nunca serão inseridos em um útero. Sabemos que 90% dos embriões gerados em clínicas de fertilização e que são inseridos em um útero, nas

melhores condições não geram vida. Por outro lado, é justo deixar morrer uma criança ou um jovem afetado por uma doença neuromuscular letal para preservar um embrião cujo destino é o lixo? Ao tomar essa atitude não estaremos destruindo duas vidas em vez de uma?

Em resumo, é extremamente importante que as pessoas entendam a diferença entre clonagem humana e clonagem terapêutica, bem como a importância do uso de células embrionárias. A Comunidade Européia, o Canadá e o Estado da Califórnia acabam de aprovar pesquisas com células embrionárias de embriões com até 14 dias. É fundamental que nossos legisladores também apoiem essas pesquisas porque elas poderão salvar milhares de vidas! Para isto é fundamental que ouçam a opinião de todos os segmentos da sociedade, mas principalmente a voz das pessoas diretamente afetadas por doenças degenerativas.

Mayana Zatz é bióloga, doutora em Genética Humana e Médica, professora titular de Genética do Departamento de Biologia da Universidade de São Paulo e coordenadora do Centro de Estudos do Genoma Humano.

mayazatz@usp.br

DA TRANSFORMAÇÃO EM BACTÉRIAS ÀS PLANTAS TRANSGÊNICAS

*Rubens Onofre Nodari
Miguel Pedro Guerra*

Em 1928, portanto vinte e cinco anos antes do trabalho clássico de Watson e Crick, foi descoberta a transformação genética. De lá para cá, os avanços científicos possibilitaram ao ser humano a manipulação do DNA, a molécula cuja função é carregar a informação genética que é lida pela maquinaria celular durante o desenvolvimento de um organismo ou vírus. O homem tornou-se capaz de reprogramar a vida de seres vivos e de vírus. Depois da produção do fogo e de seus usos, esta se constitui na segunda grande conquista tecnológica da humanidade. Também já é prática rotineira, em laboratório, o isolamento, a recombinação de fragmentos de DNA de diferentes organismos e sua transferência para plantas, animais e microrganismos, originando os transgênicos, que se caracterizam por carregarem um inserto de DNA engenheirado in vitro, passível de patenteamento. Contudo, o homem ainda não adquiriu conhecimento suficiente que lhe permita o controle tanto da expressão quanto do destino dos genes inseridos. Assim, é pertinente a análise dos riscos dessa tecnologia, necessidade reforçada pelo fato de que já existem provas científicas de efeitos adversos de vários transgênicos em diferentes componentes do ecossistema.

Introdução

O ano de 2003 não representa apenas o cinquentenário da proposta de modelo estrutural do DNA. Antes deste, dois outros fatos foram igualmente relevantes: 75 anos atrás descobriu-se a transformação genética em bactérias e, há 59 anos, os ácidos nucléicos foram apontados como o princípio da transformação genética. Estes dois eventos, aliados às descobertas do início dos anos 70, possibilitaram a obtenção dos organismos geneticamente modificados ou transgênicos.

Esse curto período de tempo permitiu o aprofundamento e a fundamentação dos conhecimentos científicos no campo das ciências da vida. O avanço no conhecimento científico experimentou uma interação muito profícua e dinâmica com o desenvolvimento de novas tecnologias, de tal sorte que o primeiro afetou o segundo e vice-versa. Em especial, a manipulação do DNA está no centro de várias tecnologias que possibilitam a reprogramação da vida dos organismos, inclusive a do ser humano, a partir da adição de seqüências extras, geralmente quiméricas¹. Outras tecnologias possibilitam obter a genotipagem², a diagnose de doenças, a fusão somática e a clonagem.

Paralelamente ao avanço do conhecimento científico na manipulação do DNA, esforço considerável da comunidade científica e de empresas de biotecnologia foi feito para desenvolver métodos de transferência de DNA recombinante e sua integração no genoma de um organismo de interesse.

Quando as aplicações comerciais das novas biotecnologias tornaram-se mais conspícuas, ocorreu uma outra revolução, agora nas formas de apropriação e uso dos recursos genéticos e seu conhecimento associado. A valoração econômica e as tentativas de apropriação desses conhecimentos, assim como de técnicas biológicas ou daqueles “seres vivos” delas resultantes, provocaram, em vários países, mudanças na legislação favorecendo esta apropriação. No Brasil, as novas leis de Propriedade Intelectual foram implementadas nos anos 90, a saber: Propriedade Industrial, Proteção de Cultivares, Patrimônio Genético, *Software* e Direito Autoral, para citar as principais. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), ocorrida na Rio-92, também introduziu mudanças não só na forma de regulamentar o acesso aos recursos genéticos, mas também na instituição do Princípio da Precaução no uso dos recursos genéticos e nos produtos e processos derivados das biotecnologias.

¹ Seqüências quiméricas: conjunto de fragmentos ligados por técnicas de DNA recombinante que não são contíguos *in vivo*.

² Genotipagem: caracterização de parte do genoma dos indivíduos com o acesso a diversas marcas contidas no DNA.

A segunda grande conquista tecnológica da espécie humana

Há mais de cinco mil anos a espécie humana vem utilizando biotecnologias, notadamente as fermentações, para a produção de alimentos e bebidas. Assim, tanto o pão quanto o vinho são produtos de biotecnologias. Com o avanço do desenvolvimento científico e tecnológico, outras biotecnologias foram desenvolvidas. Em decorrência, o conjunto de técnicas empregadas na cultura de tecidos vegetais a partir de meados do século passado permitiu a multiplicação vegetativa e conseqüentemente a clonagem massal³ de genótipos⁴ selecionados. A palavra *clone* foi utilizada por Herbert J. Webber para descrever uma colônia de organismos derivados por via assexual de um único progenitor. Contudo, atualmente a conotação popular da palavra é de cópia.⁵ Hoje, a micropropagação é a técnica biotecnológica mais empregada no mundo, com impactos benéficos em termos de fixação de ganhos genéticos e de sanidade e sem representar riscos ao ambiente, já que as mudas obtidas em laboratório são livres de doenças e de pragas, o que contribui para a diminuição do uso de agrotóxicos.

Além dos aspectos fitossanitários e da captura e fixação de ganhos genéticos, a cultura de tecidos é também utilizada para: (i) conservação de coleções de germoplasma em *ex situ in vitro*; (ii) limpeza de vírus; (iii) geração de nova variabilidade genética por meio da variação somaclonal (variação genética induzida pelas condições da cultura *in vitro*); (iv) estabelecimento de competência regenerativa na transformação genética (capacidade das células e tecidos vegetais em regenerarem uma planta completa); (v) superar barreiras pré e pós-zigóticas de incompatibilidade (mecanismos genéticos, bioquímicos ou morfológicos que impedem a fertilização do óvulo a partir do pólen de uma mesma flor ou planta); (vi) obtenção de duplo-haplóides homocigotos (plantas obtidas a partir da cultura de grãos de pólen ou óvulo seguido da duplicação do número de cromossomos); (vii) obtenção de linhagens celulares para a produção de metabólitos secundários (compostos produzidos pelo metabolismo secundário de plantas) de interesse farmacológico e industrial (biorreatores). Mais recentemente, na área animal, estas técnicas vem sendo empregadas para a obtenção de linhagens de células-tronco de mamíferos, incluindo a espécie humana.

Também a partir dos anos 70, houve uma intensificação do uso de marcadores genéticos. Marcador genético é uma característica (fenotípica ou seqüência de DNA) capaz

³ Clonagem massal: produção em larga escala de indivíduos geneticamente idênticos.

⁴ Genótipos: composição específica de alelos de uma célula ou indivíduo.

⁵ SILVER, L. M. What are clones? *Nature*, 412(6842): 21, 2001.

de detectar diferenças entre dois ou mais indivíduos ou organismos. Os marcadores moleculares facilitam a realização de estudos de genética, taxonomia e evolução de plantas, proporcionando um substancial avanço no conhecimento científico e tecnológico. As principais implicações deste avanço se refletem no poder, precisão e rapidez na análise e manipulação da variabilidade genética. Assim, o melhoramento de plantas pode beneficiar-se de várias maneiras do emprego dos marcadores moleculares. Seus principais usos estão associados à: (i) construção de mapas genéticos e mapas de características consideradas de importância; (ii) caracterização da variabilidade genética e de variedades; (iii) seleção indireta (assistida por marcadores) e (iv) diagnose de doenças.

Duas biotecnologias mais recentes, a transgenia e a clonagem de seres vivos, aumentam ainda mais o poder do homem na manipulação genética, provocando as mais diversas reações em vários segmentos sociais. A transgenia é um processo no qual são utilizadas várias técnicas que possibilitam a obtenção de um ser vivo, em cujo genoma é inserida uma ou mais quimeras genéticas por métodos não sexuais. Por sua vez, a clonagem (de animais e do homem) é um processo que possibilita a obtenção de uma ou mais cópias de um ser vivo por via assexual a partir de células somáticas.

Adquiriu assim, o homem, a capacidade de reprogramar, em princípio, a vida de todo e qualquer ser vivo, inclusive a sua, podendo fazer cópias genéticas de si mesmo. Alguns autores admitem que essas novas competências se constituem na segunda grande conquista tecnológica da espécie humana, depois do domínio do fogo. Elas representam, sem dúvida, o domínio de uma competência sem precedentes na história da humanidade. Conforme menciona Jeremy Rifkin⁶, o homem transformou parte do mundo inanimado da natureza em mundo de pura utilidade e o uso do fogo permitiu a ampliação da sua base alimentar, a confecção de ferramentas e utensílios e de sistemas de defesa e foi a base para o desenvolvimento industrial, cujo ápice estamos vivendo.

Mas, ao contrário das outras biotecnologias, a transgenia e a clonagem de mamíferos carregam profundas implicações. De um lado, as implicações da primeira estão relacionadas aos possíveis riscos ao ambiente e à saúde humana, bem como às relações sócio-econômicas e de dominação política. Já a clonagem causa perplexidade face às ameaças à diversidade cultural, aos seus riscos ainda não bem conhecidos, ao renascimento da eugenia e aos demais desafios aos princípios éticos até então vigentes.

⁶ RIFKIN, J. *O Século da Biotecnologia* – a valorização dos genes e a reconstrução do mundo. São Paulo: Makron, 1999. 290 p.

As principais descobertas que possibilitam a transgenia

Em 1928, Frederick Griffith conseguiu transformar uma cepa de *Streptococcus pneumoniae* atenuada e não encapsulada (denominada na época de pneumococcus Tipo II) em uma cepa, agora virulenta e com capacidade de encapsulamento (Tipo III). Para tal, Griffith inoculou simultaneamente em um rato uma pequena quantidade de uma cultura viva de pneumococcus Tipo II (Cepa R, não virulenta) e uma grande quantidade de uma cultura Tipo III (Cepa S, virulenta), morta pelo calor.⁷ Não só o rato morreu, como as células recuperadas foram igualmente virulentas em inoculações subseqüentes. O fato de o Tipo II (R) ter-se tornado virulento foi considerado uma prova da aquisição desta característica a partir do outro tipo. O fenômeno foi chamado na época de transformação de genética.

A ocorrência de transformação foi posteriormente confirmada por outros pesquisadores não só em bactérias e vírus, mas também em organismos eucariotos. Embora o resultado fosse conhecido, o processo em si, bem como os princípios do fenômeno, ainda não foram totalmente desvendados.

Segundo Dobzhansky⁸, se tal transformação é descrita como uma mutação genética, trata-se de um autêntico caso de indução de mutações específicas por tratamentos específicos. Em função das descobertas que serão descritas a seguir, define-se transformação como sendo a conversão de um genótipo em outro pela introdução de DNA exógeno.⁹

Várias descobertas possibilitaram um entendimento bastante profundo sobre a transformação genética. Em uma delas, Oswald T. Avery, Collin M. MacLeod e Maclyn McCarthy¹⁰ demonstraram, em 1944, que o agente responsável pela transformação era o DNA. Os autores concluíram que “se o DNA é de fato o princípio da transformação, como as evidências fortemente sugerem, os ácidos nucléicos deste tipo devem ser considerados não apenas como importantes do ponto de vista estrutural, mas como funcionalmente ativos na determinação das atividades bioquímicas e nas características específicas das células de pneumococcus”.

Oito anos mais tarde, em 1952, Alfred Hershey e Martha Chase utilizando o fago T2, um vírus que infecta a *Escherichia coli*, também concluíram que o DNA era o material hereditário. Este experimento foi relevante porque muitos cientistas na época não acreditavam que era o DNA, mas sim as proteínas, a molécula responsável pela hereditabilidade, mesmo após o trabalho de Avery e colegas.¹¹

⁷ SUSUKI, D. T.; GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H. & LEWONTIN, R. C. *An introduction to genetic analysis*. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1989. 768 p.

⁸ DOBZHANSKY, T. *Genetics and the origin of the species*. 3. ed. New York: Columbia University Press, 1951. 364 p.

⁹ SUSUKI, D. T. *et. al. Op. cit.*

¹⁰ AVERY, O. T.; MacLEOD, C. M. & McCARTY, M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of Pneumococcus types. *Journal of Experimental Medicine*, 79(2):137-158. 1944. Publicado em ADELBERG, E. A. (ed.). *Papers on Bacterial genetics*. Boston: Little, Brown and Company, 1960, pp. 147-168.

¹¹ GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUSUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C. & GELBART, W. M. *An introduction to Genetic analysis*. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2000. 768 p.

Experimentalmente Hershey e Chase adicionaram fósforo radioativo (^{32}P) numa colônia de bactérias infectadas por vírus. Neste caso, o fósforo radioativo foi incorporado no DNA, já que pouco ou quase nenhum fósforo é encontrado nas proteínas. Num experimento paralelo, foi feita a adição do isótopo de enxofre (^{35}S), que pode marcar radioativamente as proteínas, já que estas têm enxofre, mas não marca o DNA, pois este não contém enxofre. Como só o ^{32}P foi detectado nas progênes dos vírus, conclui-se que o DNA, e não a proteína, passava de geração a geração.

Um ano mais tarde, James Watson e Francis Crick publicaram o trabalho sobre a estrutura do DNA e suas consequências genéticas, cujo cinqüentenário estamos vivendo.

Em 1970, Hamilton Smith descobriu que algumas enzimas eram capazes de cortar o DNA, quebrando uma longa cadeia em fragmentos de diferentes tamanhos. Ao inocular um vírus denominado fago T7 numa linhagem de *Hemophilus influenzae*, a bactéria hospedeira, Smith verificou que o DNA do vírus T7 resultava em 40 fragmentos específicos. Estudando mais detalhadamente, ele verificou que uma das enzimas da bactéria (chamada de *HindIII*) cortava o DNA sempre que encontrava uma seqüência específica no DNA do vírus (AAGCTT).

Rapidamente, foram descobertas enzimas de restrição em centenas de bactérias, cada uma reconhecendo, geralmente, seqüências diferentes. A descoberta destas tesouras químicas possibilitou a realização de novas combinações de genomas completamente distintas *in vitro*.

Assim, três anos depois, em 1973, o primeiro plasmídeo recombinante foi obtido por Stanley Cohen e seus colaboradores.¹² O plasmídeo foi construído a partir do corte de DNA *in vitro* com enzimas de restrição e a ligação de fragmentos específicos com enzimas chamadas ligases. Surgiu a expressão “tecnologia do DNA recombinante” (que mais tarde recebeu como sinônimo a expressão “engenharia genética”) para designar a combinação *in vitro* de moléculas de DNA de diferentes genomas (ou origens). Basicamente, trata-se do uso de dois grupos de enzimas: as de restrição (do tipo II), que são capazes de reconhecer uma pequena seqüência de pares de bases (geralmente de 4 a 8) e, em seguida, de cortar o DNA nesse sítio de reconhecimento ou de corte; as ligases, que são capazes de ligar dois fragmentos de DNA.

A expressão DNA recombinante deve ser distinguida dos recombinantes naturais que resultam do *crossing-over* entre cromossomos homólogos em ambos, procariotos¹³ e eucariotos¹⁴. DNA recombinante é uma tecnologia que

¹² COHEN, S. N.; CHANG, C. Y.; BOYER, H. W. & HELLING, R. B. Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 70, n. 11, p. 3240-3244. 1973.

¹³ Procariotos: organismos formados por uma única célula, sem membrana nuclear.

¹⁴ Eucariotos: organismos compostos por uma ou mais células que possuem núcleo distinto envolvido por membrana nuclear.

¹⁵ GRIFFITHS, A. J. F. *et. al.*
Op. cit.

possibilita a união não natural de DNA de origens não homólogas, geralmente de diferentes organismos.¹⁵ O resultado é uma molécula, denominada por muitos geneticistas de DNA quimérico, tendo em vista que diferentes fragmentos são arranjados de forma contígua. Na natureza, dificilmente o DNA de uma espécie pode ser cortado e ligado ao DNA de outras espécies, resultando imediatamente numa molécula funcional como é normalmente feito no processo *in vitro*.

Assim, um dos genes da transgênica Soja RR, que promove a resistência da planta ao Roundup, herbicida à base de glifosato, contém material genético de pelo menos quatro diferentes organismos: vírus-do-mosaico-da-couve-flor (CaMV), petúnia, *Agrobacterium* CP4 e a *Agrobacterium tumefaciens*. As seqüências de DNA retiradas destas quatro espécies codificam para o promotor, o peptídeo sinal, o gene EPSPS e a seqüência 3' (NOS), respectivamente. As quatro seqüências de DNA foram arranjadas na ordem acima mencionada para possibilitar que esta construção genética se tornasse funcional dentro da planta. Assim, as plantas que têm inserido em seu genoma esta construção genética completa se tornam resistente aos herbicidas a base de glifosato.

Paralelamente ao avanço no conhecimento científico que proporciona a manipulação cada vez mais profunda da molécula responsável pela hereditariedade, também foram observados avanços no desenvolvimento de métodos de transferência destas moléculas de DNA quimérico de um vetor (normalmente um plasmídeo) e inserção no genoma de uma planta.

Enfim, as plantas transgênicas

Em 1983, foi obtida a primeira planta transgênica, após o sucesso de uma das várias tentativas de inserção de uma molécula de DNA quimérico. Para se obter uma planta transgênica é preciso então transformá-la, assim como Griffith transformou pneumococcus em 1928. A transformação de plantas consiste na introdução de uma molécula de DNA quimérica em um genoma. Já os métodos diretos e indiretos são empregados para transformar plantas. O método indireto mais usado emprega a *Agrobacterium tumefaciens* como veículo de entrega do DNA quimérico à planta. Métodos químicos e físicos possibilitam a transformação direta de genomas. Dentre eles destacam-se: biobalística (ou aceleração de partículas), eletroporação, microinjeção e métodos químicos (como polietilenoglicol) e outros.¹⁶

Na transformação genética de plantas, são inseridas várias seqüências, especialmente arranjadas, geralmente isoladas de mais de uma espécie, de forma a garantir a expressão de um

¹⁶ POTRYKUS, I. Gene transfer to plants: assessment of published approaches and results. *Annual Review Plant Physiology*, v. 42, p. 205-225. 1991.
BRASILEIRO, A. C. M. & DUSI, D. M. A. Transformação genética de plantas. *In*: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. & BUSO, J. A. *Cultura de Tecidos e Transformação genética de plantas*. Brasília: Embrapa/CBAB, 1999, p. 679-735.

ou mais genes de interesse. Particularmente, seqüências de DNA (genes) podem ser removidas de um organismo, ligadas a seqüências regulatórias de outro organismo e inseridas em um terceiro organismo. Neste contexto, o prefixo *trans* é plenamente justificado, pois exprime a idéia de “além de”, significando, neste caso, o rompimento da barreira da espécie.

Com o estabelecimento de normas gerais de biossegurança é que se começou a utilizar a expressão “organismo geneticamente modificado” (OGM). Do ponto de vista legal, no Brasil, OGM é o organismo cujo material genético (DNA/RNA) tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética. A Lei 8.974, de 5/01/95, definiu ainda engenharia genética como a atividade de manipulação de moléculas ADN/ARN recombinantes.

As plantas transgênicas, assim como os animais e microrganismos geneticamente modificados, possibilitam tanto estudar questões biológicas fundamentais em nível molecular quanto materializar aplicações da biologia celular e molecular, como, por exemplo, o controle de pragas através da produção pela planta de endotoxinas modificadas ou a produção de um novo produto, como uma vacina ou vitamina.

O significado genético da transgenia

A indução à mutagênese era até então outra maneira utilizada pelo homem para alterar geneticamente uma planta. Neste caso, o genótipo do indivíduo é alterado diretamente *in vivo*. Um exemplo disto é a exposição de sementes a agentes químicos, como o metil sulfonato, ou físicos, como raios de cobalto ou raios X, na esperança de que alguma modificação ocorra no genótipo previamente escolhido. No sentido conceitual de modificação *in vivo*, a transgenia equivaleria à mutagênese (processo que dá origem às mutações), pois também provoca uma alteração genética num genótipo previamente escolhido.¹⁷ Também há similaridade entre ambas quanto à aleatoriedade no *locus* onde ocorrerá a mutação ou a inserção do DNA quimérico. Em ambos os casos, contudo, o cientista ainda não tem controle sobre o *locus* onde ocorrerá a modificação.

Entretanto, existem várias diferenças entre ambos. O processo e, em muitos casos, a natureza da alteração destes dois métodos são diferentes. Na mutagênese, as modificações podem ser de substituição de uma base por outra, deleção ou duplicação de uma ou mais bases e rearranjos diversos. Já na transgenia as seqüências introduzidas são, em tese, previamente conhecidas e são adicionadas, no todo ou em parte, ao genoma previamente escolhido.

¹⁷ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 1, p. 81-116, 2001.

Essa diferença é crucial, pois na tecnologia está embutida a possibilidade da aplicação de leis de propriedade industrial que permitem o patenteamento das seqüências engenheiradas, bem como do processo de transgenia. Tal possibilidade baseia-se naquilo que é adicionado, uma vez que o gene é conhecido, engenheirado e patentado. O mesmo não ocorre com a técnica da mutagênese, embora um cultivar desenvolvido com esta estratégia possa ser protegido por leis de proteção intelectual.

Outra técnica, desenvolvida para terapia genética na espécie humana, a quimeroplastia, foi adaptada para plantas.¹⁸ Ela possibilita a substituição ou a adição de uma base, em uma seqüência conhecida. Neste caso a diferença em relação à transgenia clássica é a utilização de oligonucleotídeos quiméricos. Seu alcance, todavia, é menor, restringindo-se a alterar ou adicionar uma ou poucas bases de um gene cuja seqüência deve ser previamente conhecida.

Freqüentemente é dito por cientistas que “o homem vem produzindo transgênicos há milênios com a seleção artificial de plantas”. É verdade que os agricultores domesticaram as plantas cultivadas e os melhoristas realizaram cruzamentos para conseguirem novas combinações genéticas (progênes). Por meio dos métodos de melhoramento, agora chamados de convencionais, *novas* combinações genéticas são geradas por meio de cruzamentos sexuais entre plantas que apresentam as características consideradas como desejadas. Cruzamentos são feitos entre plantas da mesma espécie e, ocasionalmente, quando a variação genética desejada não existe dentro da espécie, genes são transferidos de outras espécies do mesmo gênero e, muito raramente, de gêneros afins, via introgressão. Das metodologias utilizadas pelo melhoramento de plantas, a introgressão de genes, feita por retrocruzamentos sucessivos do F_1 (ou híbrido, resultante do cruzamento entre dois genótipos distintos) para o genótipo recorrente, é a que mais se assemelha à transgenia, em termos de obtenção de uma *nova* variedade, cuja constituição genética é diferente das demais.

Contudo, existem muitas diferenças entre ambas. Na transgenia, seqüências de DNA (genes) podem ser removidas de um organismo, modificadas ou não, ligadas a outras seqüências, incluindo as regulatórias, e inseridas em outros organismos. A fonte destes genes pode ser qualquer organismo vivo (microorganismo, planta, animal) ou vírus. Os agricultores selecionam plantas ou animais que consideram superiores em relação aos demais, geralmente em populações que apresentam grande diversidade genética. Por sua vez os melhoristas, utilizando o conhecimento científico acumulado e a experiência

¹⁸ BEETHAM, P. R.; KIPP, P. B.; SAWYCKY, X. L.; ARTZEN, C. J. & MAY, G. D. A tool for functional plant genomics: Chimeric RNA/DNA oligonucleotides cause *in vivo* gene-specific mutations. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 96, p. 8.874-8.878, 1999. ZHU, T.; METTENBURG, K.; PETERSON, D. J.; TAGLIANI, L. & BASZCZYNSKI, C. L. Targeted manipulation of maize genes *in vivo* using chimeric RNA/DNA oligonucleotides. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 96, p. 8868-8873. 1999.

dos agricultores, escolhem genitores fenotipicamente diferentes para os cruzamentos, obtendo assim progênes altamente variáveis, o que possibilita fazer a seleção daquelas plantas ou animais que apresentem as características desejáveis. O melhoramento genético, agora denominado de tradicional ou clássico após o surgimento dos transgênicos, pode ser considerado uma forma de biotecnologia, empregada há milênios para diversos propósitos, incluindo a introdução de *novas* variedades de plantas no ambiente. De fato, o melhoramento envolve a manipulação genética, mas não envolve as técnicas da engenharia genética conforme ficaram conhecidas desde 1973.¹⁹

¹⁹ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

²⁰ ALLARD, R. W. *Princípios do melhoramento genético das plantas*. São Paulo: Blücher-USAID, 1960. 381p.
FEHR, W. R. *Principles of Cultivar Development*. v. 1 e 2, London: Macmillan Publ., 1987.

O efeito conjunto das mutações naturais e das recombinações entre mutantes, promove o surgimento de uma ampla gama de associações alélicas²⁰, cujo destino é então dependente das diversas forças evolutivas como seleção, migração e deriva. Os primeiros agricultores e, depois, os melhoristas, selecionaram *novas* associações alélicas que melhor se adaptavam à sua maneira de cultivar em cada situação. Assim, não cabe aqui falar de transgenia, mas sim de processo evolutivo.

Uma outra diferença em relação ao melhoramento é o rompimento da barreira sexual quando se utiliza a transgenia.

Finalmente, na maioria absoluta das plantas transgênicas, outros genes também são inseridos como genes marcadores e genes repórteres. Os genes marcadores geralmente promovem resistência a um antibiótico e são utilizados para possibilitar a discriminação entre células transformadas e não transformadas, e conseqüentemente a seleção das primeiras. Tais genes são introduzidos para facilitar o trabalho de identificação das mesmas, pois são uma minoria em relação ao total de células submetidas a transformação. Genes repórteres codificam proteínas facilmente detectáveis. Dentre os genes repórteres, o mais utilizado é o gene *uidA*, extraído de *Escherichia coli*, que codifica a β -glucuronidase (GUS), detectada por métodos histoquímicos.

Limitações no uso de plantas transgênicas

Do ponto de vista científico, mesmo havendo disponibilidade de tecnologias de isolamento e transformação de uma dada espécie, duas limitações restringem o uso de genes via transgenia: a criatividade e o julgamento inadequado do valor de um gene. Esta última limitação refere-se a situações em que o pesquisador não consegue perceber ou não tem informações sobre a utilidade de um gene num programa de melhoramento de uma espécie.²¹ Desta forma, pode-se admitir que existe praticamente uma infinidade de genes que poderiam ser isolados e ou modificados para a obtenção de transgênicos.

²¹ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

Do ponto de vista tecnológico, as limitações são em número bem maior, pois atualmente não há controle (i) do sítio de inserção do DNA quimérico no genoma da planta a ser transformada, (ii) da expressão do gene inserido, (iii) da disseminação do gene inserido. Também ainda não há como prever (i) os possíveis efeitos pleiotrópicos (efeitos em outras características), (ii) os possíveis impactos e riscos ambientais, notadamente sobre os organismos não alvos e (iii) os possíveis efeitos na saúde humana.

Do ponto de vista agrônômico, também existem muitas limitações. Dentre elas cabe destaque para: (i) preços inferiores em relação aos produtos orgânicos, agroecológicos ou até mesmo convencionais (por exemplo, milho, soja e trigo); (ii) surgimento de superpragas ou superplantas daninhas por causa da seleção ou transferência de genes; (iii) estreitamento da base genética em cultivo, o que configura uma situação chamada de vulnerabilidade genética; (iv) aumento da dependência do agricultor, pois as sementes serão consideradas uma tecnologia a ser adquirida; (v) surgimento de conflitos com vizinhos ou instituições por causa da contaminação (via pólen, sementes ou resíduos) de outras lavouras, produtos (como o mel), solo ou água e (vi) falta de uma estrutura que possibilite a preservação da identidade (rastreadibilidade).

Do ponto de vista legal, ainda existem muitas limitações por causa (i) da complexidade das normas vigentes, (ii) da falta de uma Política Nacional de Biossegurança (PNB) e (iii) da não completude das normas de biossegurança. A PNB deve-se constituir no instrumento-base que possibilite as ações e os procedimentos dos órgãos governamentais responsáveis pela autorização de funcionamento e fiscalização das atividades com OGMs, bem como servir de instrumento orientador para as empresas de biotecnologia e para a sociedade. Assim, é apropriado que a PNB inclua o Princípio da Precaução, com transparência, publicidade e controle social. Além disso, deve orientar como se darão as parcerias não só entre órgãos federais de vigilâncias (saúde, agricultura e meio ambiente), mas também entre estados e municípios. É fundamental, também, interagir com as demais legislações concorrentes.²²

Por sua vez, a complexidade da legislação brasileira a respeito do assunto é significativa. Além da própria Lei de Biossegurança (Lei nº 8974/95 e a Medida Provisória 2191-9/2001, que a modificou) existem outras leis que devem ser cumpridas ou concomitantemente ou em alguma fase do desenvolvimento do OGM, como é o caso da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6938/81), que norteou a

²² NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. & VALLE, S. Bases para uma Política Nacional de Biossegurança. *Jornal do Conselho Federal de Medicina Veterinária*, v. 3, n. 9, p. 3-4, 2002.

Resolução 305/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, os Estudos de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto no Meio Ambiente de atividades e empreendimentos com OGMs e seus derivados. Além disso, também já está normatizado, nas agências de vigilância dos Ministérios do Meio Ambiente, Saúde e Agricultura e Pecuária, o Registro Especial Temporário para OGMs com características de agrotóxicos, necessário para a fase de pesquisa e experimentação.

Outra lei que deve ser observada é o Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8078/90). Esta lei garante a todos os cidadãos o direito de escolha e a rotulagem.

Do ponto de vista do consumo, as limitações também são várias, pois os consumidores (i) em geral, são céticos com relação à segurança dos alimentos transgênicos ou alimentos que contêm ingredientes transgênicos; (ii) preferem os demais alimentos, especialmente os produzidos ecologicamente, em relação aos transgênicos; (iii) estão exigindo uma rotulagem plena e informações científicas a respeito dos efeitos na saúde; (iv) não têm nenhuma vantagem econômica.

Riscos das plantas transgênicas

Ao contrário das outras biotecnologias, a transgenia apresenta profundas implicações relacionadas aos possíveis riscos ao ambiente e à saúde humana, bem como representa impactos à diversidade cultural, aos aspectos sociais e econômicos, à ética e às relações de dominação política. O cultivo em larga escala de OGMs poderá provocar a disseminação de quimeras genéticas, cujos efeitos nos componentes dos ecossistemas são difíceis de estimar.

A ameaça à diversidade biológica em consequência da liberação de OGMs decorre das propriedades do transgene no ecossistema ou de sua transferência e expressão em outras espécies. A adição de um novo genótipo numa comunidade de plantas pode proporcionar vários efeitos indesejáveis, como o deslocamento ou a eliminação de espécies não domesticadas, a exposição de espécies a novos patógenos ou agentes tóxicos, a geração de superplantas daninhas ou superpragas, a poluição genética, a erosão da diversidade genética e a interrupção da reciclagem de nutrientes e energia.

São muitos os possíveis danos ambientais quando se levam em conta os efeitos diretos ou indiretos, imediatos ou de longo prazo, previsíveis ou não intencionais.²³ Na prática, pode-se agrupar os riscos de acordo com os efeitos: alteração da dinâmica das populações, transferência de genes e contaminação de alimentos e do ambiente.

²³ TIEDJE, J. M.; COLWELL, R. K.; GROSSMAN, Y. L.; HODSON, R. E.; LENSKI, R. E.; MACK, R. N. & REGAL, P. J. The planned introduction of genetically engineered organisms – Ecological considerations and recommendations. *Ecology*, v. 70, n. 2, p. 298-315. 1989. FONTES, E. G.; SANTOS, I. K. S. M. & GAMA, M. I. C. A biossegurança de plantas cultivadas transgênicas. In: TEIXEIRA, P. & VALLE, S. (Orgs.). *Biossegurança. Uma abordagem multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1996. p. 313-327. BRITISH MEDICAL ASSOCIATION. *The impact of genetic modification on agriculture, food and health*. Londres: BMA, 1999, 18 p.

- ²⁴ LOSEY, J. E.; RAYOR, L. S. & CARTER, M. E. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, v. 399, p. 214, 1999.
- HANSEN JESSE, L. C. & OLBRYCKI, J. J. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, v. 125, n. 2, p. 241. 2001.
- ²⁵ PHAM-DELEGUE, M. H. *Risk assessment of transgenic oilseed rape on the honeybee*. Paris: INRA, Laboratoire de neurobiologie comparée des invertébrés, 1997. p. 1-3.
- ²⁶ SAXENA, D.; FLORES, S. & STOTZKY, G. Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*, v. 402, p. 480, 1999.
- ²⁷ XUE, D. *A summary research on the environmental impact of Bt cotton in China*. Greenpeace, 2002. 26 p.
- ²⁸ HUANG, F.; BUSCHMAN, L. L.; HIGGINS, R. A. & MCGAUGHEY, W. H. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer. *Science*, v. 284, p. 965-967, 1999.
- AL-KAFF, N. S.; KREIKE, M. M.; COVEY, S. N.; PITCHER, R.; PAGE A. M. & DALE, P. J. Plants rendered herbicide-susceptible by cauliflower mosaic virus-elicited. *Nature Biotechnology*, v. 18, n. 9, p. 995-999. 2000.
- PENGUE, W. A. Impactos de la expansión de la soja en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: Un modelo para armar. *Biodiversidad*, v. 29, p. 7-13, 2001.
- ²⁹ XUE, D. *Op. cit.*
- ³⁰ COLYER, P. D.; KIRKPATRICK, T. L.; CALDWELL, W. D. & VERNON, P. R. Root-Knot Nematode reproduction and root galling severity on related conventional and transgenic cotton cultivars. *The Journal of Cotton Science*, v. 4, p. 232-236, 2000.
- KREMER, R. J.; DONALD, P. A.; KEASTER, A. J. & MINOR, H. C. Herbicide

No grupo de alteração da dinâmica de populações estão incluídos os riscos já avaliados, cujos efeitos causam danos aos organismos não alvos, como mariposas²⁴; abelhas²⁵; microorganismos de solo²⁶; inimigos naturais das pragas, como as vespas e outras espécies²⁷; o favorecimento de uma ou mais espécies em detrimento de outras, como no caso de *Fusarium sp.* e de nematóides; o aumento da frequência de pragas e doenças resistentes ao efeito do transgene.²⁸

Nos cultivos de algodão *Bt*, investigadores chineses verificaram uma diminuição na população de inimigos naturais parasíticos e da diversidade de insetos em geral.²⁹ Experimentos realizados nos Estados Unidos com algodão e soja transgênica resistentes ao herbicida Roundup demonstraram que, depois de quatro anos de cultivo na mesma área, as variedades transgênicas mostraram maior susceptibilidade a ataques de nematóides e *Fusarium sp.*, respectivamente.³⁰ Além disso, a revisão de literatura feita por Wolfenbarger e Phifer³¹ indicou a existência de vários estudos comprovando os riscos e os possíveis danos aos diversos componentes de ecossistema.

Contudo, a área que mais recebe atenção neste momento é a de fluxo gênico. Fluxo gênico é a dispersão ativa ou passiva de genes via sementes, pólen ou partes clonais de uma planta dentro do meio ambiente. Os principais efeitos são: (i) efeitos dos transgenes no valor adaptativo das espécies afins; (ii) efeitos na dinâmica de populações; (iii) efeitos indiretos na comunidade (ecossistema) e (iv) efeitos na diversidade genética de espécies afins.

Os impactos ecológicos da transferência de pólen dependem da capacidade dos híbridos em sobreviver e reproduzir. Taxas de sobrevivência ou de reprodução indicam a oportunidade da introgressão de transgenes em populações naturais, dependendo do fluxo gênico subsequente e da pressão de seleção.³² Para se tornar uma ameaça, como uma planta invasiva, os híbridos precisam ser viáveis e competitivos, além de férteis quando dependem da reprodução sexual para propagação. Estes autores relataram 11 casos de formação de híbridos entre variedades transgênicas e plantas aparentadas e/ou daninhas.

No caso do cruzamento entre canola transgênica e a mostarda silvestre, o número de sementes da segunda geração do híbrido foi dez vezes maior do que o F₁. Algumas plantas descendentes do cruzamento produziram 10 mil sementes e o gene de resistência ao herbicida ainda permanecia numa grande quantidade de plantas. Isto demonstra que a transferência de genes que condicionam resistência a herbicidas pode ocorrer com maior intensidade e facilidade do que se imaginava.³³

Impact on *Fusarium* spp. and Soybean Cyst Nematode in Glyphosate-Tolerant Soybean. [on-line] URL: http://www.asa-cssa-sssa.org/cgi-bin/abstract_database_search.cgi?objective=Kremer. 2000.

- ³¹ WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, v. 290, p. 2088-2093, 2000.
- ³² WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. *Op. cit.*
- ³³ CHÈVRE, A-M.; BARANGER, F. E. A. & RENARD, M. Gene flow from transgenic crops. *Nature*, v. 389, p. 924, 1998.
- ³⁴ SNOW, A.; MALLORY-SMITH, C.; ELLSTRAND, N.; HOLT, J.; QUEMADA, H. & SPENCER, L. Proceedings of Ecological and Agronomic Consequences of Gene Flow from Trans-genic Crops to Wild Relatives. Columbus: Ohio State University, 2002. 187 p.
- ³⁵ SNOW, A. *et. al.*, *Op. cit.*
- ³⁶ ELLSTRAND, N. C.; PRENTICE, H. C. & HANCOCK, J. F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology Systematics*. v. 30, p. 539-563, 1999.
- ³⁷ SYVADAN, M. Horizontal gene transfer: evidence and possible consequences. *Annual Review of Genetics*, v. 28, p. 237-261, 1994.
- ³⁸ NIELSEN, K. M.; VAN ELSAS, J. D. & SMALLA, K. Transformation of *Acinetobacter* sp. Starin BD413 with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of kamycin on selection of transformants. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 66, n. 3, p. 1237-1242, 2000.
- ³⁹ CHO, Y.; QIU, Y-L.; KUHLMAN, P. & PALMER, J. D. Explosive invasion of plan mitochondria by a group

Outros casos de hibridação foram apresentados e discutidos no Workshop “Ecological and Agronomic Consequences of Gene Flow from Transgenic Crops to Wild Relatives”. realizado em março de 2002, na Ohio State University Columbus, USA.³⁴ Na maioria das espécies estudadas, o valor adaptativo dos híbridos entre plantas transgênicas e parentes silvestres ou daninhas é menor ou igual ao das espécies receptoras do transgene. Isto significa que a baixa fecundidade da F_1 se constitui numa barreira temporária e incompleta na disseminação de transgenes.³⁵

Os poucos estudos associados à introgressão de transgenes e suas conseqüências ecológicas em populações naturais ainda não permitem fazer previsões confiáveis. Contudo, a experiência anterior com plantas de lavoura sugere que os efeitos negativos são possíveis. Para doze das treze espécies de maior importância econômica mundial, a hibridização com parentes selvagens contribuiu para a evolução de algumas espécies de ervas daninhas. Em alguns casos, os elevados níveis de introgressão a partir de parentes cultivados ou introduzidos eliminaram a diversidade genética e contribuíram para sua extinção.³⁶

Outra forma de disseminação do transgene é por transferência lateral ou transferência horizontal (transferência de genes entre indivíduos de espécies filogeneticamente diferentes, na ausência do acasalamento sexual), que ocorre entre espécies filogeneticamente diferentes, na ausência do acasalamento sexual.³⁷ Embora pouco estudada, já existem várias comprovações científicas da existência da mesma, cujos efeitos dependem do transgene. Experimentalmente, Nielsen *et al.*³⁸ verificaram que o DNA de beterraba transgênica pode ser transferido para *Acinetobacter* sp. cepa BD413, uma bactéria de solo. Neste caso, a transferência horizontal ocorreu de um extrato celular para plasmídeos de bactérias. Cho *et al.*³⁹ verificaram que um íntron do grupo I do genoma mitocondrial de plantas vasculares está amplamente disperso nos genes *cox1* das angiospermas. O referido íntron está presente em 48 gêneros diferentes, a partir de 32 eventos independentes de transferência horizontal. Diversos casos de absorção de DNA por parte de células eucariotas foram também registrados.⁴⁰ Num deles foi demonstrado que o DNA fornecido na alimentação de ratos não só não era totalmente destruído no trato gastrointestinal, mas também poderia alcançar a corrente sanguínea e temporariamente ser detectado nos leucócitos ou células do fígado.

I intron. *Proceedings of National Academy of Sciences*, v. 95, p. 14.244-14.249, 1998.

⁴⁰ TAPPESER B.; JÄGER, M. & ECKELCKAMP, C. *Survival, persistence, transfer: An update on current knowledge on GMs and the fate of the recombinant DNA*. Penang: TWN, 1999. 44 p.

⁴¹ HO, M-W.; TRAAVIK, T.; OLSVIK, O. TAPPESER, B.; HOWARD, C. V.; VON WEIZSACKER, C. & MCGAVIN, G. C. Gene Technology and gene ecology of infectious diseases. *Microbial Ecology in Health and Disease*, Stockholm, v. 10, p. 33-59, 1998.

KOHLI, A.; GRIFFITHS, S.; PALACIOS, N.; TWYMAN, R. M.; VAIN, P.; LAURIE, D. A. & CHRISTOU, P. Molecular characterization of transforming plasmid rearrangement in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination. *The Plant Journal*, v. 17, n. 6, p. 591-601, 1999.

SCHMIDT, E. E.; TAYLOR, D. S.; PRIGGE, J. R.; BARNETT, S. & CAPECCHI, M. R. Illegitimate Cre-dependent chromosome rearrangements in transgenic mouse spermatids. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 97, p. 13.702-13.707, 2000.

⁴² WINDELS, P.; TAVERNIERS, I.; DEPICKER, A.; VAN BOCKSTAELE, E. & LOOSE, M. Characterization of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research and Technology*, v. 213, n. 2, p. 107-112, 2001.

⁴³ QUIST, D. & CHAPELA, I. H. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414: 541-543, 2001.

⁴⁴ TIEDJE, J. M. *et. al.*, *Op. cit.* FONTES, E. G. *et. al.*, *Op. cit.* WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. *Op. cit.*

Embora não se conheça a magnitude da contribuição da engenharia genética para a transferência horizontal, é possível levantar a hipótese de que o cultivo em larga escala de plantas transgênicas deve favorecer a transferência horizontal. Geralmente, as plantas transgênicas contêm elementos mediadores da transformação *in vitro*, ou parte deles, e também da transferência horizontal, como plasmídeos, transposons e vírus. Todos estes elementos facilitam a recombinação,⁴¹ a instabilidade⁴² e a transferência de genes.

A contaminação genética causada por pólen transgênico já é considerada um problema relevante. Um caso no México e dois nos Estados Unidos merecem destaque. No primeiro houve a contaminação por transgenes de variedades crioulas e populações silvestres de milho, no centro de origem desta espécie.⁴³ Em 2000, nos Estados Unidos, foi detectada, em produtos para consumo humano, uma proteína codificada por um transgene presente na variedade transgênica de milho StarLink, sem a informação pertinente no rótulo. Esta variedade foi liberada apenas para consumo animal, por ter um transgene cuja proteína é potencialmente alergênica à espécie humana. Também ocorreu contaminação nas lavouras de milho de outras variedades, plantadas na vizinhança, cujos grãos também foram comercializados para diferentes propósitos sem nenhuma identificação relacionada à transgenia. A segunda ocorreu dois anos depois. Ordenada pela Secretaria de Agricultura, ProdiGene Inc, uma companhia biotecnológica foi obrigada a destruir 155 acres de milho transgênico, engenheirado para produzir insulina, em Iowa, porque a lavoura poderia ter contaminado outras lavouras vizinhas (*New York Times*, 14/11/2002). Anteriormente, plantas transgênicas de milho da mesma empresa cresceram junto à lavoura de soja após a colheita do milho. Duas conseqüências são imediatas: (i) conflitos entre agricultores e empresas ou entre os próprios agricultores e (ii) a alteração da natureza do produto, que conforme o caso, pode causar prejuízos financeiros e biológicos.

Assim, considerando a falta de controle após a inserção do gene quimérico numa espécie, antes da liberação em larga escala de um cultivar transgênico, deve-se realizar um estudo de impacto ambiental que inclua a avaliação de riscos, e isto deve ser feito caso a caso⁴⁴ e passo a passo.⁴⁵ A abrangência desta avaliação de risco deverá ser baseada numa matriz, a qual, de um lado, inclua a escala espacial (planta, parcela, lavouras agrícolas e região) e, de outro lado, os efeitos diretos e indiretos na agricultura, ecologia e sócio-economia.⁴⁶

⁴⁵ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

⁴⁶ PETERSON, G.; CUNNINGHAM, S.; DEUTSCH, L.; ERICKSON, J.; QUINLAN, A.; RAEZ-LUNA, E.; TINCH, R.; TROEL, M.; WOODBURY, P. & ZENS, S. The risks and benefits of genetically modified crops: a multidisciplinary perspective. *Conservation Ecology*, v. 4, n. 1, p. 13 [on-line] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art13>. 2000.

⁴⁷ LEWONTIN, R. *It ain't necessarily so* – The dream of the human genome and other illusions. New York: New York Review Books, 2000. 330p.

Considerações finais

A obtenção de plantas transgênicas decorre principalmente dos avanços no conhecimento sobre a genética de procariotos. Esta evolução, desde 1928, ocorreu de forma acentuada e progressiva, gerando processos e produtos associados à chamada revolução biotecnológica.

Se por um lado essas técnicas acenam para a resolução de uma série de problemas e o desenvolvimento de novos e inúmeros produtos, por outro lado, trazem embutidas preocupações relacionadas com a biossegurança. Uma hipótese a ser considerada é que tanto a manipulação de DNA quanto os mecanismos de regulação gênica que operam em procariotos são muito mais conhecidos e dominados pelo homem do que em eucariotos. Assim, o sucesso no isolamento, construção de moléculas quiméricas e sua transferência para organismos eucariotos são feitos com base no conhecimento de procariotos. Contudo, os mecanismos que operam após a transferência da construção quimérica, incluindo a inserção, as interações e a expressão, são de uma complexidade ainda não compreendida na sua totalidade. Como decorrência, é razoável supor que o insucesso no controle dos genes inseridos pode ser atribuído ao insuficiente conhecimento da genética, bioquímica e fisiologia dos eucariotos. Desta forma, a tecnologia estaria na frente dos avanços do conhecimento básico.

O problema da biologia é que, em contraste com outros ramos do mundo físico, nos quais poucas grandes forças dominam os fenômenos, o organismo vivo é resultante de um grande número de caminhos fracos causais determinantes, fazendo com que seja extremamente difícil proporcionar explicações completas.⁴⁷ Segundo este autor, um organismo vivo num momento qualquer de sua vida é a consequência única da história do desenvolvimento que resulta de interações e determinações de forças internas e externas. Estas forças externas, que usualmente pensamos como ambiente, são parcialmente consequências do próprio organismo. Os organismos não encontram o mundo onde se desenvolvem, mas o fazem. Reciprocamente, as forças internas não são autônomas, mas agem em resposta às externas.

Assim, por se tratar de uma nova tecnologia e considerando o reduzido conhecimento científico a respeito dos riscos de OGMs, torna-se indispensável que a liberação para plantio e consumo em larga escala de plantas transgênicas seja precedida de uma análise criteriosa de risco, respaldada em estudos de impacto ambiental, conforme apregoa a legislação vigente.

⁴⁸ TRAAVIK, T. *Too early may be too late. Research Report for DN 1999-1*. Ecological risks associated with the use of naked DNA as biological tool for research, production and therapy. Trondheim: Norway, 1999. 106p.

⁴⁹ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Environmental Impacts. *Environmental Effects of Transgenic Plants: The Scope and Adequacy of Regulation*. Washington, D. C.: National Academies Press, 2002, 320 p.

⁵⁰ TRAAVIK, T. *Op. cit.*

Rubens Onofre Nodari é agrônomo, doutor em Genética e professor do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

nodari@cca.ufsc.br

Miguel Pedro Guerra é agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal e professor do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

mpguerra@cca.ufsc.br

O relatório do Governo da Noruega, divulgado em 1999, denominado *Too early maybe too late: ecological risks associated with the use of naked DNA as a biological tool for research, production and therapy*, concluiu que qualquer OGM deve sofrer avaliação de impacto ambiental antes de ser liberado. Este relatório refuta a idéia de que a transgenia em plantas é similar ao melhoramento genético convencional, porque introduz novos genes exóticos e cria recombinações não naturais cujas localizações no genoma do organismo são imprevisíveis. Isto pode resultar em efeitos imprevisíveis no metabolismo, fisiologia e bioquímica do organismo receptor.⁴⁸

Quando há razões para suspeitar de ameaças de redução sensível ou de perda de biodiversidade ou de riscos à saúde, a falta de evidências científicas não deve ser usada como razão para postergar a tomada de medidas preventivas. Assim, não só a certeza científica, mas também as incertezas devem ser levadas em consideração quando a espécie humana ou o meio ambiente estão envolvidos.

Segundo o relatório do National Research Council dos EUA⁴⁹, a expressão “não há evidência”, comumente utilizada pelas autoridades e cientistas americanos e brasileiros, mesmo sob crítica, não deveria ser mais utilizada quando da análise de biossegurança de produtos para a alimentação. Anteriormente esta crítica já havia sido feita por Traavik⁵⁰ quando afirmou que “a ausência de evidência nunca é a evidência da ausência”.

PLANTAS TRANSGÊNICAS E AMBIENTE

Giancarlo Pasquali
Maria Helena Bodanese Zanettini

Muitas metodologias de transformação genética vegetal foram desenvolvidas nas últimas décadas. Entretanto, a maioria das plantas transgênicas até agora obtida foi produzida pela transformação mediada por agrobactérias, pela transferência direta de DNA para protoplastos ou pela aceleração de partículas (biobalística). O advento das práticas da engenharia genética de vegetais, animais e microrganismos e, sobretudo, a efetiva disponibilização comercial de produtos deles derivados, despertaram dúvidas na população quanto à segurança alimentar e ambiental. Sendo assim, torna-se relevante apresentar as técnicas mais utilizadas para a geração de plantas transgênicas, os transgenes e principais vegetais obtidos, além de discutir aspectos relacionados com a segurança destes produtos.

Introdução

O melhoramento genético vegetal antecede Mendel (1822-1884). De fato, o ser humano vem “melhorando” geneticamente os vegetais desde a prática da agricultura, há cerca de 10.000 anos. O hábito instintivo de escolher a maior ou mais atrativa fruta, ou os grãos mais panificáveis, levaram o ser humano a multiplicar os vegetais detentores destas características em áreas restritas e cada vez mais amplas, em detrimento do espaço destinado aos demais seres vivos com outras características menos apreciadas naquele momento. O advento da genética e da citogenética no século XX acelerou o processo de melhoramento tornando-o uma tecnologia baseada na ciência. O período destacado entre 1930 e 1970 testemunhou um fenomenal aumento na produtividade das culturas, particularmente as de cereais. Durante este mesmo período, os instrumentos da citogenética em muito facilitaram a prática da fecundação artificial entre indivíduos vegetais de espécies diferentes (hibridação ampla, interespecífica) e a transferência sexual de genes das espécies selvagens para as cultivadas. Este conjunto de metodologias, denominado de “engenharia cromossômica”, está baseado na manipulação dos mecanismos de pareamento cromossômico e permitiu a recombinação de genomas inteiros, partes de genomas ou segmentos cromossômicos que resultaram na produção de várias cultivares superiores.

Entretanto, a busca de características em espécies selvagens nem sempre é viável, uma vez que barreiras de isolamento reprodutivo (pré e pós-fertilização) podem impedir o sucesso no cruzamento. Por técnicas de cultura *in vitro* de embriões, muitas das barreiras naturais puderam ser superadas para a geração de híbridos interespecíficos. É importante salientar que, sempre que for utilizado o método de cruzamento, mesmo que o melhorista esteja interessado em uma ou poucas características, grandes blocos de genes são transferidos da planta doadora para a receptora, mesmo após várias gerações de seleção. Isto significa dizer que, além do(s) gene(s) de interesse, inúmeros outros segmentos de ácido desoxirribonucléico (DNA) mantêm-se na cultivar final, e estes segmentos não são conhecidos, exceto pelo fato de não interferirem no conjunto desejado de características (fenótipo).

Outra prática de melhoramento genético vegetal empregada ao longo dos últimos 50 anos, e amplamente explorada nos dias de hoje, é a indução de mutações pelo emprego de agentes químicos ou físicos (radiações).¹ As mutações

¹ SIDDIQUI, B. A. & KHAN, S. (eds.) *Breeding in Crop Plants – Mutations and In Vitro Mutation Breeding and mutagenesis*. Ludhiana, Índia: Rajinder Nagar, 1999. AHLOOWALIA, B. S. & MALUSZYNSKI, M. Induced mutations – a new paradigm in plant breeding. *Euphytica*, v. 118, p. 167-173, 2001.

consistem na eliminação, substituição, inversão ou adição aleatórias de segmentos de DNA, em número e locais absolutamente imprevisíveis dos cromossomos. Após o tratamento de centenas de sementes ou flores com agentes mutagênicos, os vegetais mutantes resultantes (ou não, pois nem sempre ocorrem mutações com os tratamentos) são avaliados, buscando-se selecionar aqueles indivíduos que mantenham as características já conhecidas e apreciadas dos vegetais originais somadas a um novo fenótipo desejado, promovido pelo rearranjo das seqüências de DNA. Com o emprego de agentes mutagênicos foram obtidas cultivares de maior produtividade ou qualidade nutricional, com maior resistência a insetos ou moléstias, ou com maior tolerância a estresses ambientais. Raramente as mutações foram caracterizadas em nível molecular (de DNA) e em nenhuma nova cultivar as mutações silenciosas, ocorridas em regiões cromossômicas não interferentes nos fenótipos desejáveis, foram mapeadas.

Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento de novas ferramentas para a transferência de genes individualizados, coletivamente denominadas de “engenharia genética”, adicionou novas dimensões aos programas de melhoramento. A engenharia genética compreende um conjunto de instrumentos não convencionais com vistas à transferência de informação genética de um organismo, seja ele um microrganismo, um vegetal ou um animal, para outro. Tais instrumentos permitem a inserção de um gene bem caracterizado em células vegetais embriogênicas, meristemáticas, ou mesmo diferenciadas em tecidos adultos, e a subsequente regeneração de plantas férteis com o gene integrado em seus genomas. Este procedimento de transformação genética permite a obtenção das denominadas “plantas transgênicas”.²

Transformação genética vegetal mediada por agrobactérias

A evidência de que a bactéria do solo *Agrobacterium tumefaciens* era o agente etiológico dos tumores conhecidos como “galha-da-coroa” (*crown gall disease*) em certos vegetais foi obtida há quase 100 anos.³ O gênero *Agrobacterium* pertence à família Rhizobiaceae e inclui as espécies *A. tumefaciens*, *A. rhizogenes*, *A. vitis*, *A. rubi* e *A. radiobacter*. *A. radiobacter* é a única espécie não patogênica. Enquanto *A. rhizogenes* leva à “síndrome de raízes em cabeleira” (*hairy root disease*), *A. vitis* e *A. rubi*, à semelhança de *A. tumefaciens*, produzem tumores em videiras e espécies dos

² BRASILEIRO, A. C. M. & CARNEIRO, V. T. C. (eds.) *Manual de Transformação Genética de Plantas*. Brasília: CENARGEN/EMBRAPA, 1998.

BRASILEIRO, A. C. M. & DUSI, D. M. A. Transformação genética de plantas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. & BUSO, J. A. (eds.) *Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas*. v. 2. Brasília: CBAB e EMBRAPA, 1999. p. 679-735.

³ STAFFORD, H. A. Crown gall disease and *Agrobacterium tumefaciens*: a study of the history, present knowledge, missing information, and impact on molecular genetics. *The Botanical Review*, v. 66, p. 99-118, 2000.

VAN SLUYS, M. A. *Agrobacterium*: um vetor natural para transformação em plantas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. & BUSO, J. A. (eds.) *Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas*. v. 2. Brasília: CBAB e EMBRAPA, 1999. p. 737-759.

gêneros *Rubus* e *Kalanchoe*. Sob condições de laboratório, uma ampla variedade de espécies vegetais é transformável pelas agrobactérias. Além de *A. tumefaciens*, apenas *A. rhizogenes* tem sido utilizada por muitos laboratórios para a geração de plantas e tecidos transgênicos.

A transformação genética é consequência de um processo natural de transferência de DNA da bactéria para a célula vegetal, semelhante à conjugação bacteriana. Um fragmento de DNA plasmidial⁴, denominado de T-DNA (*Transferred DNA*), é transferido para a célula vegetal e integrado ao seu genoma. A expressão de genes do T-DNA nas células do hospedeiro leva à manifestação do fenótipo transformado que é caracterizado por um crescimento celular desordenado, levando à formação de tumores, e pela produção de aminoácidos modificados denominados de “opinas”.

O T-DNA corresponde a um segmento precisamente definido de um plasmídeo de alto peso molecular (média de 200.000 pares de bases – pb) denominado plasmídeo Ti (*tumour-inducing*) em *A. tumefaciens* e Ri (*root inducing*) em *A. rhizogenes*. O T-DNA é delimitado por seqüências diretamente repetidas de 25 pb, conhecidas como borda direita e borda esquerda. Três componentes genéticos são requeridos para a transferência do DNA das agrobactérias para a célula vegetal e incluem um conjunto de genes cromossômicos de virulência (*chv*), um conjunto de genes de virulência (*vir*) localizados no plasmídeo Ti e o próprio T-DNA. A proteína VirD2, uma endonuclease, reconhece e corta as bordas direita e esquerda que delimitam o T-DNA e liga-se à extremidade 5' da molécula simples fita do T-DNA. A proteína VirE2 liga-se, então, à superfície da unidade T-DNA-VirD2, protegendo-a de nucleases e formando o chamado complexo T. A passagem do complexo T pela membrana bacteriana e parede celular da célula vegetal é garantida por proteínas codificadas pelo loco *virB*. O complexo-T é transferido para o núcleo através de um poro da membrana nuclear. No núcleo ocorre a integração do T-DNA ao genoma da célula vegetal. Várias outras proteínas bacterianas e vegetais participam do processo, e o papel de cada uma foi recentemente descrito em cuidadosa revisão.⁵

Embora existam sítios preferenciais, ou *hot spots*, para a integração do T-DNA, o local cromossômico e o número de cópias integradas são aleatórios. Uma vez integrados ao genoma celular, os genes presentes no T-DNA são transcritos e traduzidos em enzimas que, por sua vez, levam à síntese de fito-hormônios (auxina e citocinina)⁶ e opinas. A síntese dos fito-hormônios desencadeia numerosas divisões

⁴ DNA plasmidial ou plasmídeos são pequenas moléculas de DNA circular presentes em bactérias, com replicação independente do cromossomo bacteriano, e que servem como “vetores” para a manipulação de seqüências de DNA de interesse (genes).

⁵ TZVI TZFIRA, T. & CITOVSKY, V. Partners-in-infection: host proteins involved in the transformation of plant cells by *Agrobacterium*. *Trends in Cell Biology*, v. 12, p. 121-129, 2002.

⁶ Os fito-hormônios, ou reguladores do crescimento vegetal, são moléculas que, em quantidades ínfimas, alteram a multiplicação e expansão celulares, entre outros efeitos.

celulares levando à formação dos tumores vegetais. As opinas, formadas também como consequência da ativação de genes localizados no T-DNA, são secretadas para os espaços externos das células vegetais e servem de fonte nutricional para as bactérias. Os genes para o catabolismo das opinas também estão localizados no plasmídeo Ti. Assim, a cada divisão promovida pelos fito-hormônios, uma nova célula vegetal contendo a sua cópia de T-DNA passa a produzir opinas nutricionais às agrobactérias.

A construção de vetores derivados do plasmídeo Ti para introduzir genes exógenos em plantas só foi possível graças à observação de que nenhuma seqüência presente no T-DNA, exceto os 25 pb das suas bordas, é necessária para o processo de transferência e integração do T-DNA. Assim, pode-se retirar partes do T-DNA, incluindo os genes de síntese de fito-hormônios e opinas, sem que isto comprometa o processo de transferência. Em verdade, a síntese de auxina e citocinina pelas células vegetais transformadas com o T-DNA “selvagem” interfere no balanço hormonal endógeno e é incompatível para a regeneração de plantas normais. Portanto, a remoção destes genes é necessária para viabilizar a regeneração de plantas a partir das células transformadas. O desenvolvimento de vetores plasmidiais baseados no plasmídeo Ti de *Agrobacterium* requer a conservação das bordas do T-DNA e da região *vir*. A maioria dos vetores desenvolvidos possui estes componentes genéticos em plasmídeos independentes. O plasmídeo Ti “desarmado” contém apenas os genes *vir* e um segundo plasmídeo (binário), muito menor, compatível com a multiplicação em *Escherichia coli* e, portanto, mais facilmente manipulável, possui o T-DNA. Outras versões de plasmídeos Ti integrais ou reconstruídos por plasmídeos de co-integração também são amplamente utilizados. Independentemente do sistema, qualquer gene ou seqüência de DNA que for inserida entre as bordas do T-DNA presentes no plasmídeo binário (ou de co-integração) pode ser transferido e integrado no genoma de vegetais compatíveis com a infecção pelas agrobactérias.

A infecção por agrobactérias foi o primeiro método utilizado para gerar plantas transgênicas. Hoje, mais de uma centena de espécies de dicotiledôneas são transformadas geneticamente por esta metodologia. Por muito tempo, plantas monocotiledôneas foram consideradas inacessíveis à transformação por agrobactérias. No entanto, modificações realizadas nas seqüências de genes *vir*, e na combinação dos mesmos, possibilitaram que várias espécies transgênicas de monocotiledôneas fossem obtidas, incluindo os principais

cereais e outras espécies de interesse econômico como arroz, cevada, milho, trigo, aspargo, cana-de-açúcar, banana, tulipas, entre outras. No entanto, as espécies de plantas diferem grandemente em sua suscetibilidade à infecção por *A. tumefaciens*. Mesmo para uma única espécie, diferentes cultivares⁷ podem mostrar diferentes graus de suscetibilidade a linhagens específicas de *Agrobacterium*. Estas diferenças têm sido notadas em arroz, milho, várias leguminosas, espécies de *Pinus*, tomate, *Arabidopsis*, videira, entre outras. Várias investigações têm demonstrado, ainda, que tecidos, órgãos e tipos de células pertencentes a uma mesma planta podem diferir em sua suscetibilidade a *Agrobacterium*. Portanto, o sucesso na obtenção de vegetais geneticamente transformados por agrobactérias depende de uma série de estudos que definam não só o grau de compatibilidade entre células vegetal e bacteriana, mas também de um protocolo detalhado de procedimentos para a seleção dos tecidos transformados e livres das agrobactérias e da regeneração de vegetais completos.

Transformação de protoplastos

Os protoplastos vegetais são obtidos pela remoção química e enzimática das paredes celulares constituídas principalmente por celulose, hemicelulose e ligninas, deixando as células limitadas apenas pela membrana citoplasmática. Os protoplastos resultantes podem ser submetidos a tratamentos químicos ou elétricos para internalizar moléculas exógenas de DNA, sofrendo, assim, a transformação.⁸

O polietilenoglicol (PEG), usado em conjugação com cátions bivalentes (Ca^{2+} ou Mg^{2+}) e alto pH, promove a aderência do DNA à superfície dos protoplastos em virtude da oposição de cargas: tanto a membrana plasmática do protoplasto como o DNA exibem cargas negativas. O DNA é, então, incorporado pela célula provavelmente por endocitose⁹. O mecanismo preciso da permeabilização da membrana mediada por PEG não está totalmente esclarecido.

A transferência de DNA para protoplastos mediada por PEG foi primeiramente registrada para tabaco (*Nicotiana tabacum*). Além desta espécie, o método tem sido utilizado para a transformação genética de outras dicotiledôneas como canola (*Brassica napus*) e monocotiledôneas como azevém (*Lolium multiflorum* L.) e trigo (*Triticum monococcum* L.).

Outro método bastante empregado para a introdução de fragmentos de DNA em células é a eletroporação. Neste caso, os protoplastos são expostos a pulsos elétricos curtos

⁷ Cultivar refere-se a uma "variedade cultivada" (do inglês, *cultivated variety*), isto é, uma linhagem vegetal com características agrônômicas bem estabelecidas e utilizada em plantios comerciais.

⁸ BARROS, L. M. G. & CARNEIRO, V. T. C. Eletroporação de protoplastos. In: BRASILEIRO, A. C. M & CARNEIRO, V. T. C. (eds.) *Manual de Transformação Genética de Plantas*. Brasília: CENARGEN/EMBRAPA, 1998. p. 35-49.

⁹ Endocitose é a atividade de transporte de material para o interior da célula (importação) por meio de invaginações da membrana plasmática.

e de alta voltagem na presença de DNA exógeno. Os pulsos elétricos induzem a formação transitória de poros e a permeabilização reversível da membrana plasmática, permitindo a entrada do DNA na célula. A transformação por eletroporação é ainda mais efetiva quando, na mistura de protoplastos e DNA, são adicionados lipídeos polares capazes de formar lipossomos¹⁰. Entre estes lipídeos estão a lipofectina ou a lipofectamina. Os lipossomos são capazes de englobar moléculas de DNA e formar pontes com a membrana plasmática dos protoplastos, facilitando a incorporação do material genético após o pulso elétrico.

¹⁰ Os lipossomos são vesículas ou corpos esféricos mantidos por típicas membranas biológicas, isto é, constituídas por uma ou duas camadas de lipídeos polares como fosfolipídeos, esfingolipídeos, entre outros.

A aplicação da eletroporação para a transformação estável tem sido utilizada para um número limitado de espécies vegetais. Arroz (*Oryza sativa*) foi o primeiro cereal transgênico fértil gerado por eletroporação. Para tabaco e algumas outras espécies de dicotiledôneas, foi demonstrado que o tratamento prévio com PEG aumenta a eficiência de transformação estável por eletroporação.

Para que ocorra a transformação genética, as moléculas exógenas de DNA devem atravessar não só a membrana citoplasmática, mas também o envelope nuclear. Uma vez no núcleo, mecanismos e componentes típicos da célula vegetal realizam a integração do DNA exógeno no(s) cromossomo(s). Novamente, o número de cópias incorporadas e os locais de integração são imprevisíveis, exceto quando seqüências especiais de DNA são utilizadas (veja adiante). Os mesmos mecanismos e componentes podem, é claro, eliminar o DNA exógeno sem realizar a integração. Quando protoplastos são utilizados para a transformação de células vegetais, tanto por PEG como por eletroporação, o maior obstáculo para a recuperação de plantas transgênicas é a dificuldade de regenerá-las a partir das células transformadas. Com a retirada da parede celular, as células tornam-se muito frágeis e suscetíveis a danos. Os eventos de transformação estável somente poderão ser detectados se o protoplasto for capaz de regenerar a parede celular, continuar a crescer e iniciar a divisão celular, permitindo a regeneração de plantas completas.

Transformação genética por aceleração de partículas

A aceleração ou bombardeamento de partículas, também conhecida por biolística, biobalística, *particle gun* ou *gene gun*, é, atualmente, o método mais amplamente utilizado para a transformação genética de plantas e de outros organismos, sendo capaz de superar as restrições estabeleci-

- ¹¹ LACORTE, C.; ARAGÃO, F. J. L.; VAINSTEIN, M. H. & RECH, E. L. Biobalística. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. & BUSO, J. A. (eds.) *Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas*. v. 2. Brasília: CBAB e EMBRAPA, 1999. p. 761-781.

das pela necessidade de compatibilidade hospedeiro-*Agrobacterium* e as dificuldades encontradas para a regeneração de plantas a partir de protoplastos.¹¹ A transformação de várias espécies recalcitrantes (“resistentes” à transformação) é agora possível devido a uma extensa variação de tecidos (explantes) e células em cultura que podem servir de alvo para a transferência de DNA por meio da biobalística.

Embora existam diferentes procedimentos e equipamentos para realizar a transformação genética por biobalística, o princípio é sempre o mesmo. Inicialmente, o DNA é adsorvido à superfície de partículas metálicas com diâmetros que variam de 0,4 a 2 mm. As micropartículas devem possuir um alto peso para manterem a velocidade de migração após a aceleração, sendo ouro ou tungstênio os metais mais utilizados para as suas confecções. A adsorção do DNA (de carga negativa) à superfície das partículas é promovida por cátions bivalentes (Ca^{2+}) e peptídeos ricos em aminoácidos básicos (com cargas positivas) como espermidina, que imantam positivamente os metais. As partículas são, então, aceleradas a altas velocidades em direção ao tecido-alvo sob vácuo parcial, de forma a reduzir a resistência do ar contra o avanço das mesmas. As partículas atravessam a parede celular, a membrana plasmática e membranas de organelas, alojando-se aleatoriamente nos diversos compartimentos celulares. Espera-se que algumas partículas atinjam as organelas celulares que contenham DNA como plastídeos (cloroplastos), mitocôndrias e especialmente o núcleo. Em virtude do pH levemente ácido da célula, o DNA é liberado das micropartículas e, pela intermediação de fatores celulares, é eventualmente integrado ao DNA celular. Uma vez incorporados aos cromossomos, os transgenes serão replicados e segregados como os demais genes, regenerando-se plantas transgênicas a partir das células e tecidos transformados sob condições específicas de seleção.

Os aparelhos para acelerar as micropartículas podem ter propulsão a ar comprimido ou a vapor d'água, a pólvora, a gás hélio ou a eletricidade. A velocidade ótima varia com a espessura da parede celular, a sensibilidade dos tecidos ao dano e a localização (profundidade) das células-alvo no tecido. Alguns dos fatores que afetam a frequência de transformação por este método incluem o tamanho, o número e a composição das partículas; o método de precipitação do DNA sobre as partículas antes do bombardeamento; a velocidade de impacto do complexo DNA-partícula; a distância de migração das partículas; e o dano causado ao tecido-alvo. Testes e adaptações destas diversas condições devem

ser realizados com vistas a encontrar a condição ótima de transformação para um determinado tecido-alvo e genótipo vegetal.

Virtualmente, toda espécie vegetal capaz de ser regenerada a partir de células individualizadas pode ser transformada por biobalística. Praticamente todos os vegetais de importância agrônômica incluindo arroz, algodão, feijão, soja, cana-de-açúcar, milho, trigo, cevada, aveia, eucalipto, entre outros, já foram transformados por este método, o que demonstra que o mesmo é adequado tanto para dicotiledôneas como para monocotiledôneas.

Integração do DNA nos cromossomos

Tanto na transformação mediada por agrobactérias como naquela dependente de um dos diversos métodos de introdução direta de DNA, espera-se que o DNA exógeno seja integrado no genoma receptor por recombinação ilegítima.¹² A recombinação ilegítima caracteriza-se por envolver o pareamento homólogo entre seqüências-alvo curtas (um ou poucos nucleotídeos), por pequenas eliminações de bases (13-73 pb) no local da inserção e pela ocorrência de síntese de DNA (reparo) em trechos curtos entre a seqüência transferida e a seqüência-alvo. Na transformação mediada pelas agrobactérias, o T-DNA é transferido para a célula vegetal e integrado a um cromossomo na forma de fita simples, enquanto na aceleração de partículas e demais métodos, um DNA de fita dupla é, normalmente, inserido na célula. Portanto, diferentes mecanismos de recombinação podem estar envolvidos, mas não existe evidência para tal conclusão.

Um dos temas de maior interesse na transgênese vegetal (e de outros organismos) é o controle do local de integração no genoma e do número de cópias integradas. Isto pode ser obtido pela inclusão, em regiões flanqueadoras dos transgenes de interesse, de segmentos de homologia com regiões cromossômicas. Assim, espera-se que uma recombinação homóloga ocorra entre o fragmento de DNA exógeno e a região genômica que apresenta homologia. As regiões escolhidas normalmente compreendem segmentos de DNA de transcrição ativa e, portanto, é esperada uma recombinação perfeita para que não haja alteração do padrão de expressão de genes endógenos do vegetal receptor.

O número de cópias do T-DNA integrado aos genomas de linhagens de plantas transformadas é usualmente baixo, variando de uma a poucas cópias, embora, raramente,

¹² KUMAR, S. & FLADUNG, M. Controlling transgene integration in plants. *Trends in Plant Sciences*, v. 6, p. 155-159, 2001.

linhagens com até 12 cópias tenham sido encontradas. Nos demais métodos de transformação, geralmente várias cópias são integradas ao genoma. Caso mais de uma cópia estiver presente, estas podem estar localizadas em diferentes locos no genoma da planta ou podem estar em um mesmo loco, onde ocorrem em orientação direta ou invertida. Frequentemente, moléculas de T-DNA co-transferidas integram-se no mesmo local no genoma da célula vegetal, formando cadeias ligadas (concatâmeros). Considerando-se o tamanho de um genoma vegetal, é difícil conceber que os T-DNAs encontram-se reunidos por acaso. Isto sugere que as moléculas de T-DNA deslocam-se juntas até o ponto de inserção ou que existam locais preferenciais (*hot spots*) para a integração. Nestes locais, poderia estar presente uma região de DNA danificado, o que criaria uma área ativada contendo enzimas de reparo que são necessárias para o preenchimento de lacunas no momento da integração do T-DNA. Estudos iniciais indicaram que os locais de integração do T-DNA seriam distribuídos ao acaso no genoma da planta. Estudos posteriores, envolvendo a marcação de fitas de T-DNA (*T-DNA tagging*), bem como investigações da estrutura cromatínica do T-DNA em plantas transgênicas, sugerem uma integração preferencial em regiões ativamente transcritas do genoma.

Seleção de células e tecidos transformados e regeneração de plantas

A cultura *in vitro* de tecidos não é um pré-requisito para a transformação de plantas.¹³ A transformação genética de *Arabidopsis thaliana*¹⁴, por exemplo, mediada por *Agrobacterium*, pode ser obtida pela direta inoculação de plântulas, sob vácuo, seguida do replantio das mesmas em solo, sem a necessidade de cultura de tecidos. A seleção (antibiótica ou por herbicidas) é realizada sobre as plântulas germinadas (T1) a partir das sementes geradas pelas plantas originalmente transformadas (T0). Entretanto, a eficiência do método tem sido restrita a esta espécie vegetal, havendo também diferenças de resposta entre ecotipos. Em vista disto, a cultura *in vitro* de tecidos é empregada na quase unanimidade dos procedimentos de transformação para se obter eficiência tanto na transferência do gene, quanto na seleção e na regeneração dos transgênicos.

Nas culturas de tecidos para a transformação de plantas, o mais importante é que um grande número de células compatíveis com a regeneração seja acessível ao procedimento de transferência do gene e que as mesmas retenham

¹³ TORRES, A. C.; CALDAS, L.S. & BUSO, J. A. (eds.) *Cultura de Tecidos e Transformação Genética de Plantas*. Brasília: CBAB e EMBRAPA, 1999.
BRASILEIRO, A. C. M & CARNEIRO, V. T. C. (eds.) *Manual de Transformação Genética de Plantas*. Brasília: CENARGEN/EMBRAPA, 1998.

¹⁴ Trata-se de um vegetal-modelo de estudo em genética e biologia molecular vegetais. Não possui nome comum em língua portuguesa.

a capacidade de regenerar durante o tempo necessário para a proliferação celular e os tratamentos de seleção. Na medida do possível, o período de cultura *in vitro* de tecidos vegetais deve ser minimizado para evitar variações somaclonais, isto é, modificações no padrão de expressão gênica que podem levar a variações fenotípicas indesejáveis.

Considerando que um pequeno número das células-alvo incorpore o(s) transgene(s) de forma estável nos seus genomas com o emprego de qualquer dos métodos de transformação genética vegetal, genes que conferem vantagem seletiva, além dos genes de interesse, são geralmente incluídos na maioria dos procedimentos de transformação. Exceção pode ser feita àqueles vegetais cujo procedimento de regeneração esteja tão otimizado que um grande número de regenerantes seja obtido após a transformação.

Os genes marcadores são aqueles que codificam enzimas ou outras proteínas capazes de conferir, às células transformadas, resistência ou tolerância a determinados agentes seletivos. Assim, uma vez ocorrido o evento de transformação e na presença do agente seletivo correspondente, apenas as células que contenham e expressem o gene marcador crescerão normalmente, enquanto aquelas não transformadas morrerão. Duas classes de genes marcadores têm sido mais utilizadas na modificação genética de plantas: aqueles que codificam proteínas que conferem resistência a antibióticos e aqueles cujos produtos conferem tolerância ou resistência a herbicidas.

O gene marcador mais freqüentemente utilizado é o *aphA2* ou *nptII*, isolado do transposon Tn5 de *Escherichia coli* e que codifica a enzima aminoglicosídeo-3-fosfotransferase II [APH(3)II]. Esta enzima, também conhecida como neomicina-fosfotransferase II (NPTII), inativa, por fosforilação, os antibióticos aminoglicosídicos como neomicina, canamicina, paromomicina e G418. Outro gene de resistência a antibióticos muito utilizado na seleção de tecidos vegetais transformados é o gene *hpt*, isolado de *E. coli* e que codifica a enzima higromicina-fosfotransferase (HPT). Esta proteína confere resistência à higromicina e derivados. Este gene é especialmente utilizado quando as células e tecidos vegetais possuem resistência natural aos antibióticos aminoglicosídicos, como é o caso de monocotiledôneas como cevada e aveia e de algumas leguminosas como a soja.

Os genes marcadores que conferem tolerância a herbicidas mais utilizados são *csr1*, *aroA* e *bar*. O gene *csr1* ou *ahas* codifica uma forma alterada da enzima ácido hidroxiaçético-sintase (AHAS), também conhecida como aceto-

lactato-sintase (ALS). Este gene foi isolado de mutantes de *A. thaliana* resistentes aos herbicidas derivados de sulfonilurêias e de imidazolinonas (nomes comerciais Imazapyr e Arsenal). Tais herbicidas inibem a enzima AHAS endógena da planta, essencial à biossíntese de aminoácidos ramificados (valina, leucina, isoleucina), levando a planta à morte. Assim, plantas transgênicas contendo um dos genes mutados *csr1* produzem uma enzima AHAS alterada, não reconhecida pelos herbicidas, tornando-as tolerantes a esses produtos.

O gene *aroA* foi primeiramente isolado de *Salmonella typhimurium* tratada com agente mutagênico e selecionada para resistência ao herbicida glifosato (também chamado de glufosato e com o nome comercial Roundup, entre outros). Este herbicida inibe a enzima 5-enolpiruvil-3-fosfochiquimato-sintase (EPSPS), codificada pelo gene *aroA* endógeno da planta. Esta enzima faz parte da rota de biossíntese de aminoácidos aromáticos como triptofano e fenilalanina. O gene *aroA* foi isolado de muitas plantas e de outros microrganismos, inclusive de *A. tumefaciens*, sendo ainda submetido a diferentes mutações. O gene mutado codifica uma proteína com menor afinidade ao glifosato, conferindo, assim, tolerância da planta transgênica ao herbicida. A tolerância ao glifosato também pode ser obtida pela superexpressão, em plantas transgênicas, do próprio gene que codifica a enzima-alvo (EPSPS).

O gene *bar* ou *pat*, isolado de *Streptomyces hygroscopicus*, codifica a enzima fosfinotricina-N-acetiltransferase (PAT) que inativa o herbicida fosfinotricina (PPT, com os nomes comerciais Basta e Finale, entre outros), prevenindo sua ligação à glutamina-sintetase (GS). O PPT é um análogo do glutamato e um inibidor da GS. A GS catalisa a reação que fixa amônia na molécula de glutamato, formando glutamina. Assim, a glutamina é o principal produto de assimilação da amônia em plantas, sendo importante na regulação do metabolismo nitrogenado. A inibição da GS resulta no acúmulo de amônia nas células provocando a morte da planta.

Portanto, o uso de genes marcadores e dos respectivos agentes seletivos permite a seleção das células e tecidos transformados, impedindo o crescimento ou eliminando as células vegetais que não integraram, de forma ativa, o transgene em pelo menos um de seus cromossomos. Sob condições estabelecidas de cultura *in vitro*, incluindo a composição dos meios, a combinação e a concentração de reguladores de crescimento, a temperatura e o fotoperíodo, os tecidos transformados são induzidos a regenerar plantas inteiras.

Genes de interesse e culturas comerciais de plantas transgênicas

Nas culturas transgênicas que atualmente estão sendo comercializadas, foram incorporadas características da chamada “primeira geração”, capazes de conferir vantagens agronômicas simples, ou seja, dependentes de genes únicos ou de alguns poucos genes, dirigidas para a solução de estresses ambientais. Estas incluem, em primeiro lugar, a tolerância a herbicidas, seguida pela resistência a insetos e alguns produtos resistentes a vírus. Neste grupo de plantas transgênicas incluem-se, ainda, aquelas que incorporaram vantagens como a tolerância a metais tóxicos do solo, ao frio e a outros estresses abióticos. A alta taxa de adoção de culturas com tais características reflete a satisfação dos agricultores com produtos que oferecem benefícios significativos, variando de manejo mais flexível, menor trabalho e mais alta produtividade, além de benefícios econômicos e ambientais, pelo conseqüente decréscimo no uso de agroquímicos.

A segunda geração de características introduzidas em plantas, capazes de conferir a melhoria na qualidade do produto, resulta em benefícios que serão mais evidentes para os consumidores. A primeira característica de qualidade introduzida numa cultura transgênica foi o amadurecimento retardado no tomate *Flavr Savr*, aprovado para comercialização nos Estados Unidos em 1994. Os produtos com características de qualidade que estarão disponíveis em curto prazo incluem os chamados nutracêuticos como produtos mais nutritivos e saudáveis para a alimentação humana e animal (por exemplo, soja com maior conteúdo de ácido oléico, um ácido graxo mais saudável); produtos que estão sendo desenvolvidos como remédios para deficiências em vitaminas, (*Golden Rice*, por exemplo, um arroz com altos níveis de b-caroteno, precursor da vitamina A); produtos para sanar deficiências em microelementos (ex. arroz com níveis elevados de ferro, para combater anemias causadas pela deficiência de tal microelemento); produtos com melhor sabor, aroma e/ou aumento na qualidade ou armazenamento de compostos como amido ou proteínas (por exemplo, batata com menor conteúdo de líquidos, que absorve menor quantidade de gordura na fritura); produtos com melhor qualidade em fibras (por exemplo, algodão com fibras mais longas e fortes, conferindo melhor qualidade ao produto têxtil).

No Brasil, a geração e análise, teste em laboratório e a campo, transporte, plantio comercial ou comercialização de organismos geneticamente modificados, incluindo plantas transgênicas, são regulamentados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, além de outros Ministérios, pela Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, pelo Decreto nº 1.752, de 20 de dezembro de 1995, e por Instruções Normativas emitidas pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança.

Plantas transgênicas e segurança

A adoção comercial das culturas transgênicas é um dos casos de mais rápida difusão de uma nova tecnologia na história da agricultura. Num período de sete anos, a área global das culturas transgênicas aumentou mais de 35 vezes, passando de 1,7 milhões de hectares em 1996 para 58,7 milhões de hectares em 2002.¹⁵ Esta rápida adoção naturalmente levantou resistências ao redor do mundo, e um bom número de alegados riscos dos produtos transgênicos foram veiculados e difundidos na população. Nesta oportunidade, gostaríamos de abordar algumas críticas que, sob nosso entendimento, necessitam ser esclarecidas em virtude dos métodos e genes utilizados para a geração de plantas transgênicas, conforme acima relatados.

A presença de genes marcadores, especialmente aqueles capazes de conferir resistência a antibióticos de uso médico ou veterinário, é razão de fortes críticas às plantas transgênicas. Em geral, os genes marcadores estão fisicamente ligados aos genes de interesse, isto é, presentes na mesma cadeia de DNA exógeno utilizada na transformação (T-DNA, plasmídeo ou fragmento de plasmídeo). Exceto em raros casos de silenciamento gênico por eliminação física (*deleção*) do transgene marcador, isto é, a perda total da expressão do transgene, a remoção do gene de seleção é dificultada.

A principal preocupação com relação aos genes marcadores concentra-se na possibilidade da transferência horizontal do transgene das células vegetais transformadas para células bacterianas, gerando microrganismos resistentes a drogas. A transferência horizontal de genes ocorre naturalmente entre os organismos vivos, sejam eles transgênicos ou não transgênicos.¹⁶ A transferência horizontal de genes marcadores é teoricamente passível de ocorrer na flora intestinal humana e animal de indivíduos alimentados com vegetais transgênicos e sob tratamento antibiótico.

¹⁵ JAMES, C. Global status of commercialized transgenic crops: 2002. *ISAAA Briefs - Preview*, n. 27, 24 p., 2002.

¹⁶ SYVANEN, M. & KADO, C. I. *Horizontal Gene Transfer*. London: Academic Press, 2002.

Para que tal fenômeno ocorra é preciso a confluência de uma série de fatores. Entre eles, salienta-se: (i) a região codificadora da proteína de resistência deve ser absorvida de forma intacta pela bactéria e integrada no DNA cromossômico, plasmidial ou viral presente de forma estável na bactéria; (ii) o local da integração deve possuir regiões reguladoras para permitir que o transgene seja adequadamente transcrito e traduzido na proteína de resistência. Estas regiões devem ser diferentes do promotor e terminador¹⁷ originais do transgene que permitem o funcionamento do mesmo nas células vegetais. Finalmente, (iii) para que as células bacterianas transformadas por transferência horizontal sobrevivam, o ambiente de sua multiplicação deve estar sob a pressão do mesmo agente seletivo (antibiótico) para o qual o transgene confere resistência. Caso o antibiótico esteja ausente, o fato da bactéria possuir um gene inútil é razão de sua seleção negativa em relação às outras bactérias não transformadas, mais eficientes no aproveitamento de energia. Este ambiente é encontrado em pacientes humanos sob quimioterapia antibiótica ou em animais criados em confinamento (aves e suínos, principalmente) onde o permanente tratamento antibiótico é comum. Portanto, embora possa ocorrer a transferência horizontal do gene marcador, o evento é de uma raridade extrema. A possibilidade da transferência do gene marcador para células humanas ou animais é ainda mais remota. Mesmo que ocorra, não se espera que nossas próprias células (ou as de animais) sejam afetadas pelo antibiótico, já que os mesmos são utilizados para controlar a multiplicação de bactérias. As frequências e consequências da transferência de genes marcadores para nossas próprias células, dos pontos de vista genético ou molecular, seriam as mesmas de qualquer outro segmento de DNA presente no alimento.

A presença de genes marcadores em plantas transgênicas é inconveniente por uma razão técnica: a impossibilidade de se utilizar o mesmo gene marcador ou as mesmas regiões reguladoras para um novo evento de transformação genética da mesma planta. Assim, diferentes métodos foram apresentados para a eliminação de genes marcadores após a obtenção das plantas transgênicas. O mais simples deles utiliza a co-transformação de células vegetais, isto é, o emprego de duas cadeias distintas de DNA, uma contendo o gene de interesse e outra contendo o gene marcador.¹⁸ Após a co-transformação, os tecidos são multiplicados na presença do agente seletivo convencional e as plantas transgênicas regeneradas. Nesta fase é feita a confirmação

¹⁷ As seqüências promotoras e terminadoras dos genes são as seqüências de DNA responsáveis pela regulação dos mesmos, isto é, definem o tempo e a quantidade de mensagens (RNA mensageiro) produzidas para a síntese de proteínas.

¹⁸ EBINUMA, H.; SUGITA, K.; MATSUNAGA, E.; ENDO, S.; YAMADA, K. & KOMAMINE, A. Systems for the removal of a selection marker and their combination with positive marker. *Plant Cell Reports*, v. 20, p. 383-392, 2001.

da co-integração do gene de interesse e do gene marcador. Espera-se que a integração dos transgenes tenha ocorrido em locos cromossômicos distintos em alguns vegetais, de forma que permita a eliminação do gene marcador por simples (auto)fecundação e seleção de indivíduos da progênie. Outras metodologias mais complexas fazem uso de transgenes capazes de induzir a regeneração¹⁹ ou segmentos de DNA capazes de combinar o gene de interesse, o gene marcador e genes de endonucleases ou recombinases sob a regulação de promotores induzidos.²⁰ A planta transgênica regenerada é tratada com o agente indutor que, ativando o gene da endonuclease ou da recombinase, promove a remoção do segmento de DNA contendo os genes marcador e da própria endonuclease/recombinase, deixando somente o gene de interesse integrado ao cromossomo.

A soja com tolerância ao herbicida glifosato (Soja RR, de *Roundup Ready*) e o milho resistente à broca (*Ostrinia nubilalis*)²¹, também conhecido por milho *Bt* por conter um gene de *Bacillus thuringiensis* codificador de uma d-endo-toxina letal ao inseto, são as duas plantas transgênicas mais difundidas mundialmente. Embora nenhuma prova documental exista sobre efeitos nocivos à saúde humana e a de animais vertebrados, estas duas plantas são alvo das mais populares discussões dos últimos anos. A questão da segurança alimentar dos produtos derivados de transgênicos é relativamente fácil de ser abordada. Munidos dos devidos vegetais-controle, isto é, das plantas originais a partir das quais foram geradas as transgênicas, diversos ensaios toxicológicos e bromatológicos podem ser conduzidos, trazendo resultados óbvios sobre a saúde animal e humana.²² A questão ambiental é, sem dúvida, muito mais complexa de ser respondida. A principal razão disto é o fato de que muito pouco se conhece sobre o meio ambiente.²³

O principal risco ambiental oferecido pelas duas plantas transgênicas citadas, a soja RR e o milho *Bt*, é a transferência dos transgenes para espécies naturalmente ocorrentes nos locais de seus plantios. Isto poderia potencialmente gerar, no primeiro caso, novas plantas invasoras resistentes ao herbicida glifosato e, no segundo caso, plantas resistentes a insetos. No Brasil e, em particular, no Estado do Rio Grande do Sul, a geração de novas plantas invasoras contendo o transgene de tolerância ao glifosato dificilmente ocorreria por duas razões simples: a soja é uma espécie autógama, isto é, de autofecundação, com menos de 1% de eventos de polinização cruzada; e, em segundo lugar, não existem espécies sexualmente compatíveis com a soja. Mesmo

¹⁹ ZUO, J.; NIU, Q.-W.; IKEDA, Y. & CHUA, N.-H. Marker-free transformation: increasing transformation frequency by the use of regeneration-promoting genes. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 13, p. 173-180, 2002.

²⁰ PUCHTA, H. Removing selectable marker genes: taking the shortcut. *Trends in Plant Science*, v. 5, p. 273-274, 2000.

²¹ SEARS, M. K.; HELLMICH, R. L.; STANLEY-HORN, D. E.; OBERHAUSER, K. S.; PLEASANTS, J. M.; MATTILA, H. R.; SIEGFRIED, B. D. & DIVELY, G. P. Impact of *Bt* corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, v. 98, p. 11937-11942, 2001.

JAMES, C. Global status of commercialized transgenic crops: 2002. *ISAAA Briefs - Preview*, n. 27, 24 p, 2002.

²² CHASSY, B. M. Food Safety Evaluation of Crops Produced through Biotechnology. *Journal of the American College of Nutrition*, v. 21, p. 166S-173S, 2002.

²³ WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. The Ecological Risks and Benefits of Genetically Engineered Plants. *Science*, v. 290, p. 2088-2093, 2000.

que a transferência do transgene de tolerância ao glifosato ocorresse da soja RR para uma espécie nativa, isto não acarretaria um desequilíbrio ambiental porque, no ambiente nativo, não é aplicado o herbicida. Assim, sem função, o transgene seria perdido na população de plantas nativas. O risco, portanto, estaria restrito às áreas agriculturáveis onde é feito uso do herbicida glifosato e somente em plantas que, além da compatibilidade sexual com a soja, já tivessem uma “vocação” para serem “ervas-daninhas”.

A situação seria bastante diferente caso tratássemos de, por exemplo, “arroz RR” e não da soja RR. O arroz é um vegetal de polinização aberta e cuja cultura tem, como um de seus maiores problemas, o arroz vermelho, sexualmente compatível com o arroz cultivado. Sem os cuidados agrônômicos necessários para a cultura do arroz (e controle do arroz vermelho), em poucas safras ou anos surgiria o “arroz vermelho RR”, e o transgene perderia a sua utilidade de facilitar o controle de plantas invasoras. O problema não é novidade e exclusividade do arroz ou de transgênicos em geral. Cultivares com resistência ou tolerância a herbicidas, geradas por métodos convencionais de melhoramento genético como o cruzamento controlado ou a mutação, por exemplo, ofereceriam o mesmo risco ambiental e à agricultura.

A transferência do transgene de resistência a insetos, presente no milho *Bt*, para espécies nativas sexualmente compatíveis poderia, potencialmente, provocar um desequilíbrio. Isto seria um problema real particularmente em regiões do México ou outros centros de origem do milho. A planta nativa, no ambiente natural, teria maior resistência a insetos predadores, passando a predominar no ambiente em detrimento de outros vegetais competidores também atacados pelo mesmo inseto. Novamente, esta situação não é exclusividade do milho *Bt* ou de plantas transgênicas como um todo e, sim, de qualquer cultivar melhorada geneticamente por métodos convencionais para a resistência a insetos, nematódeos, vírus, fungos e bactérias. Na área destinada à agricultura, no entanto, o uso extremamente reduzido de inseticidas químicos com o advento do milho *Bt* (ou outro vegetal “*Bt*”), é argumento econômico, ambiental e de saúde suficiente para se convencer da vantagem destes vegetais transgênicos em relação às demais cultivares convencionais não resistentes.²⁴

Em conclusão, a transgênese e os vegetais transgênicos oferecem riscos equivalentes aos demais métodos convencionais de melhoramento genético e seus produtos.

²⁴ JAMES, C. Global review of commercialized transgenic crops: 2001. Feature: Bt Cotton. *ISAAA Briefs*, n. 26, 184 p., 2002

Giancarlo Pasquali é farmacêutico, doutor em Biologia Molecular Vegetal, professor do Departamento de Biologia Molecular e Biotecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pesquisador responsável pelo Laboratório de Biologia Molecular Vegetal do Centro de Biotecnologia da mesma Universidade.

pasquali@dna.cbiot.ufrgs.br

Maria Helena Bodanese Zanettini é bióloga, doutora em Ciências (Genética), professora do Departamento de Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e responsável pelo Laboratório de Cultura de Tecidos, Citogenética e Transformação Genética Vegetal da mesma Universidade.

mariahbz@if1.if.ufrgs.br

Podemos afirmar que os riscos oferecidos pelos transgênicos são, em verdade, ainda menores, por se tratarem de eventos e moléculas de DNA muito melhor caracterizados do que, por exemplo, a indução de mutações ou a promoção de cruzamentos entre indivíduos que, dificilmente, encontrar-se-iam na natureza para gerar progênes e híbridos.

Em todas as práticas de melhoramento genético, um bom número de indivíduos são obtidos e todos são avaliados quanto à manutenção das melhores características originais somada à nova característica introduzida, seja por cruzamentos, mutações ou transgênese. Independentemente do método de melhoramento, a vasta maioria dos indivíduos da progênie é descartada em favor de alguns poucos indivíduos “melhores”, que são selecionados e multiplicados para caracterizar a nova cultivar. Para os produtos da transgênese, ensaios de segurança ambiental e alimentar são exigidos, e tais exigências são plenamente razoáveis, pertinentes, necessárias. Por que não são aplicadas as mesmas exigências aos demais produtos de melhoramento genético convencional?

O DIREITO DE PROTEÇÃO AO GENOMA HUMANO

Eliane Cristina Pinto Moreira
Sandro Alex de Souza Simões

A decodificação do genoma humano é certamente uma das maiores conquistas da ciência, mas que acarreta preocupações éticas e jurídicas. O grande problema reside na necessidade de proteger e garantir a incolumidade física e moral das pessoas, perante a existência de técnicas cada vez mais sofisticadas que, dentre outras potencialidades, permitirão conhecer com detalhes a individualidade genômica de cada um, pondo em risco direitos e liberdades individuais. Destarte, torna-se clara a necessidade de, perante uma tecnologia de sensível impacto social, definir até onde ela pode prosseguir e para que finalidade sua utilização é aceitável. É nesse momento que cabe ao Direito intervir, coibindo práticas nocivas aos seres humanos e garantindo o bom uso da técnica, fator que deverá ocorrer em dois momentos essenciais, isto é, no momento do acesso e, posteriormente, por ocasião do uso da informação genética.

A matéria é complexa e carregada de sentimentos de temor por parte da opinião pública, que percebe tais progressos como algo ainda potencialmente danoso, apesar de todos os benefícios obtidos por meio da biotecnologia.

Ciência, tecnologia e direito de resistência

O papel da ciência e sua suposta neutralidade foram questionados de forma contundente após os eventos da Segunda Guerra Mundial que culminaram com o julgamento dos médicos nazistas e com a elaboração da Declaração de Helsink.

Era como se a caixa de Pandora tivesse sido aberta e, de uma hora para outra, a ciência não fosse mais um fator social inquestionável, posto que nem sempre poderia estar a serviço do bem (filosófico), sendo claro que conforme a sua utilização, poderia ser mais um elo no exercício do Poder ou de Poderes.

A evolução científica e os recentes acontecimentos históricos que marcaram o desenvolvimento da bioética, associados ao aprimoramento do sistema de propriedade intelectual, trouxeram sérias e profundas mudanças no papel do conhecimento científico.

Hoje se sabe que o conhecimento científico, inegavelmente, expressa desejos, sejam eles de melhoria das condições de vida da população, sejam puramente mercadológicos. Do desejo científico e social expresso pela evolução das biotecnologias humanas, rapidamente se transita à insegurança social trazida pelas inúmeras e imponderáveis relações existentes entre ciência e poder.

A revolução biotecnológica elevou a idéia de desenvolvimento científico e tecnológico à condição de pilar mestre para o desenvolvimento econômico, fundamental à produção de insumos, produtos e serviços essenciais ou não à vida social, mas, acima de tudo, cruciais para o mercado no qual circulam.

É preciso reconhecer que a ciência não é somente uma fonte de benesses sociais e sustentar esse discurso é compactuar com o cinismo. Ora, o uso do conhecimento científico pode ser mais um berço a inúmeras formas de opressão, tais como a discriminação genética, eugenia, formação de castas, dentre tantas outras. Portanto, é preciso que se forme uma estrutura que dê conta de firmar *o direito de resistir ao mau uso do conhecimento*.

Ora, como todo e qualquer desenvolvimento econômico, o desenvolvimento científico e tecnológico também se sujeita a limitações, ditadas pela ordem social. Nesse contexto, vislumbra-se a necessidade de imposição de paradigmas para esse desenvolvimento e, além dos já existentes, novos paradigmas de desenvolvimento sustentável precisam emergir.

Este, portanto, é o papel central do Direito nessa questão: com base nos paradigmas existentes e nos que precisam ser formulados, criar instrumentos para a resistência ao mau uso do conhecimento científico e das novas tecnologias, por meio do fortalecimento dos Direitos Humanos e da reformulação desses direitos, permitindo que se retire o máximo proveito social dos avanços alcançados.

Para tanto, entendemos que uma nova concepção de desenvolvimento está se delineando, a qual deve ser expressa pela mudança ou evolução do conceito de Desenvolvimento Sustentável, surgido na Reunião de Estocolmo em 1972. Nesse sentido, deve-se trabalhar a idéia de desenvolvimento para além da busca do economicamente viável, ecologicamente equilibrado e socialmente justo, agregando-se a esse tripé clássico mais um pilar que deve consistir na *finalidade humana do desenvolvimento*, isto é, o desenvolvimento não há mais que ser um fim em si mesmo, mas é preciso que reste claro de que forma ele irá melhorar a vida das pessoas.

O eixo central é a busca de um padrão de desenvolvimento científico e tecnológico sustentável ou, por outra, humanamente sustentável. Já na Declaração sobre Ciência e o Uso do Conhecimento Científico, elaborada durante a V Conferência de Budapeste em 1999, verifica-se a adoção da idéia de desenvolvimento científico e tecnológico sustentável:

Todos nós vivemos no mesmo planeta e somos parte da biosfera. Chegamos à conclusão que estamos em uma situação de crescente interdependência, e que o nosso futuro está intrinsecamente ligado a sistemas de preservação da vida global de todas as espécies. As nações e os cientistas do mundo são convocados a reconhecer a urgência do uso do conhecimento de todos os campos da ciência de uma maneira responsável para satisfazer as necessidades e aspirações humanas sem o uso errado deste conhecimento.

Dessa forma, o Direito de Proteção ao Genoma Humano é um direito lapidado a partir da necessária orientação da rota do desenvolvimento biotecnológico que passa a dever obediência a um padrão de sustentabilidade cujo critério primordial é a sua finalidade humana.

Formação do Direito de Proteção ao Genoma Humano

A evolução das biotecnologias humanas criou um novo problema à questão dos Direitos Humanos, isto é, existe um novo tipo de Poder expresso pelo Poder do Co-

nhecimento Científico e Tecnológico que, muito embora tenha enormes potencialidades de melhoria da qualidade de vida da população, também possui um enorme potencial de opressão.

Vislumbra-se, portanto, na evolução dos Direitos Humanos uma Quarta Geração, que passa a conviver com os Direitos Humanos de Primeira Geração (direitos civis e políticos), Segunda Geração (econômicos, culturais e sociais) e Terceira Geração (direitos de solidariedade).

Como ressalta Bobbio¹, as gerações de Direitos Humanos eram nascidas do direito de resistência à opressão, do Estado, do Sistema Econômico, Político ou Social. No momento atual, vislumbra-se uma nova geração de Direitos Humanos, que surge como resistência ao mau uso da tecnologia e da ciência, cuja expressão é a Proteção ao Genoma Humano.

A Quarta Geração de Direitos Humanos é marcada pela polaridade antes imponderável entre a proteção do indivíduo e o desenvolvimento científico e tecnológico. Dessa forma, faz-se necessária a ampliação e consolidação de uma nova abordagem sobre Direitos Humanos, fundados não no desenvolvimento científico e tecnológico, mas, sim, no Direito à Proteção ao Genoma Humano como condição fundamental à consecução do direito à vida com qualidade e à dignidade humana. Tal direito consiste na prerrogativa das presentes e futuras gerações (*direito intergeracional*) preservarem sua integridade e diversidade genética, protegendo-se do mau uso das informações genéticas e usufruindo, com equidade, do bom uso dessas informações.

Dessa forma, sustentamos que o Direito à Proteção ao Genoma Humano deve se apoiar em quatro alicerces fundamentais: a) o caráter coletivo (*lato sensu*) desse direito, expresso, dentre outras formas, por direitos de personalidade coletivos; b) a consideração de que este Direito é condição fundamental para a efetivação do Direito à Saúde; c) a preponderância do interesse público sobre o privado; d) a compreensão do papel das Cortes Constitucionais na defesa e construção dos direitos fundamentais.

O caráter coletivo (lato sensu) do direito, expresso, dentre outras formas, por direitos de personalidade coletivos

O grande ponto de partida para uma reflexão séria acerca do acesso e uso da informação genética humana é a constante vigilância da preservação dos direitos de personalidade, consagrados pelo Direito. Tais direitos, em que pese

¹ BOBBIO, Norberto. *A Era dos Direitos*. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

sua gênese individualizada, necessitam, perante os avanços da biotecnologia, sobrepassar a esfera do indivíduo para se projetarem como direitos de todos (presentes e futuras gerações), portanto, direitos coletivizados.

Os direitos da personalidade representam o conjunto de direitos que decorrem de sua personalidade jurídica e através do qual se garante o reconhecimento de sua condição de sujeito de direitos. Dentre eles, encontra-se o direito à dignidade, à intimidade, à autonomia da vontade; à integridade física, à liberdade, à identidade pessoal, dentre outros, que, em última instância, visa à dignidade do ser humano.

Pela fórmula do art. 1º, III da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, um dos fundamentos da República é a *dignidade da pessoa humana*, esta, sem dúvida, uma das novidades principiológicas de maior espectro na sistemática constitucional vigente.

Apenas para que se tenha um referencial de sua importância, a proteção ao embrião na proibição do aborto tem consagrado, no caso na jurisprudência alemã, muito mais o respeito à dignidade humana que o direito à vida, em função de considerar-se aquele primeiro absoluto ao contrário do último que, mesmo constitucionalmente, admite restrições.² O Tribunal Constitucional alemão tem-se valido em precedentes da combinação do direito individual de “autodeterminação para questões de fundamental importância pessoal” (*Selbstbestimmung über höchstpersönliche Angelegenheiten*) e do direito à personalidade para resolver a questão dos limites da manipulação genética. Arnold, na ordem constitucional teutônica, afirma:

*A garantia à dignidade humana, um valor supremo do conjunto dos direitos fundamentais e o limite normativo de todas as ações dos poderes públicos, proíbe, segundo a fórmula da Corte Constitucional Federal, de fazer do homem um objeto, e, portanto, desprezar sua individualidade e os valores que são inerente [sic] à sua existência.*³

Disso decorre que o princípio da dignidade humana é uma ferramenta jurídica valiosa na compreensão dos limites do desenvolvimento da biotecnologia. Em outras palavras, a ordem constitucional brasileira, na esteira do mais compreensivo constitucionalismo ocidental, não admite a “reificação” do homem – não sob o aspecto econômico, em referência expressa à conceitualística marxiana, adstrita às relações de produção – porém a “coisificação” do homem (ou, nas palavras de Edelman e Hermitte⁴, a sua desumanização) enquanto ser orgânico, dessarte objeto de si próprio.

² No caso brasileiro impende lembrar que o direito à vida também não é absoluto, dados os termos do art. 5º, XLVII, “a”, que admite a pena de morte na hipótese de guerra declarada. Os sistemas ocidentais admitem igualmente a legítima defesa sem que qualquer doutrina questione seriamente sua juridicidade. Não é demais assinalar que mesmo os Estados que contemplam a pena de morte também consagram o direito constitucional à vida...

³ ARNOLD, Rainer. Bioética e a Constituição. In: *Direito Constitucional: Estudos em homenagem a Manoel Gonçalves Ferreira Filho*. São Paulo: Dialética, 1999. p. 240.

⁴ EDELMAN, Bernard. & HERMITTE, Marie-Angèle. *L'Homme, La Nature et le Droit*. Paris: Christians Bourgeois Editeur, 1988.

A clonagem humana, como exemplo mais emblemático, “reifica” o homem desde que é capaz de negar à criatura todos os direitos que foram e são garantidos ao seu criador, como o direito a uma família, a uma ascendência, à identidade, alguns dos direitos que compõem a personalidade. O risco da produção de quimeras e híbridos já é suficiente para provocar a repulsa legítima do sistema constitucional brasileiro em face da garantia da dignidade humana.

Diversamente deveríamos tratar a terapia somática quando não interfira no genoma da descendência, pois nesse caso atritaria com o direito à personalidade pelos motivos acima aduzidos. Resta, nesse último caso, uma questão: e nos tratamentos somáticos que importem na manipulação do genoma da descendência para eliminar males determinados pela hereditariedade? Nessa hipótese, afigura-se constitucionalmente abrigada pelo nosso sistema a legitimidade da pesquisa, se levarmos em conta a garantia do direito à vida. Importa destacar esse aspecto, para demonstração do argumento que a “reificação” implica o desenvolvimento da pesquisa sem considerar o fim humano da ciência. A perspectiva na qual está referenciada qualquer ordem constitucional é antropocêntrica e não poderia ser diferente. Não se cuida, no dilema levantado, de conflitar o direito à vida com a dignidade humana, mas, sim, de preferir a vida ou tê-la como finalidade em vez de alargar os limites de uma ciência cujos benefícios ignorem o bem comum do homem.

A dignidade humana envolve desde a liberdade e a vida, direitos individuais clássicos, passando pelas condições mínimas de trabalho e tutela social – homem coletivo – à caracterização jurídica dos direitos do homem enquanto espécie do reino natural, interagindo e dependendo do meio ambiente. No espectro amplo desse princípio, ou bem dito pela Constituição de 1988, podem-se albergar no mesmo nível a privacidade e intimidade ao lado de concepções limítrofes da própria Carta Constitucional, como o direito prospectivo das futuras gerações, ou seja, a dignidade do homem nos aspectos individual ou coletivo atual ou metageneracional (futuras gerações). No caso, estamos diante de uma concepção de Direito que nitidamente força a superação de paradigmas de direitos individuais e atuais, para sujeitos já nascidos e com personalidade jurídica. Nesse sentido, a dignidade é direito humano por excelência, não havendo como excepcionar a finalidade humana do direito, nem há como fragmentá-la. Relativizá-la equivaleria a “coisificar” o homem e daí retoma-se o limite intransponível da conservação do homem enquanto sujeito e não como objeto do direito.

Muito sensível ao contexto, outrossim, afigura-se o direito à intimidade, isto é, o direito de preservar a confidencialidade de informações pessoais, que não se deseja trazer ao público. Consubstancia-se na faculdade de esconder das demais pessoas informações pessoais que não se deseja ver divulgadas, fatores que trazem vergonha à pessoa ou que, uma vez descobertos, podem desencadear julgamentos negativos por parte de terceiros etc.

Sendo assim, é certo que qualquer informação que propicie vergonha, dor ou mal-estar ao indivíduo deve ser preservada do conhecimento social. Por essa razão, ao indivíduo deve ser preservado o segredo de suas características genéticas.

No contexto atual galgado pela engenharia genética, verifica-se que o Direito à Intimidade do indivíduo é o ponto mais sensível, uma vez que se tornou possível atingir o ponto mais profundo de sua intimidade, isto é, sua informação genética. Logo, deve ser transposto o direito de preservação do indivíduo em relação às suas informações genéticas, razão pela qual é lícito ao indivíduo negar-se a ser submetido a testes genéticos, uma vez que seu patrimônio genético integra seu corpo, e qualquer intervenção destinada a revelar a terceiros suas características pessoais deve ser fundamentada no consentimento do sujeito.

Estritamente ligada ao direito à intimidade, comparece a autonomia da vontade, que confere a todos, indiscriminadamente, o direito de escolher participar ou não de determinada atividade, o direito de acordar, de consentir. Daí a garantia da autonomia da vontade, reconhecida como o direito do indivíduo autogerir-se, determinando sua vontade e fazendo a mesma prevalecer. Logo, qualquer atividade destinada a acessar ou utilizar dados do genoma humano deve ser precedida do consentimento eficiente do sujeito, que, na condição de ato jurídico, deve submeter-se a todos os seus requisitos essenciais, isto é, sujeito capaz, objeto lícito, e revestir-se da forma legal.

Finalmente, cabe referir que aliado ao direito à intimidade, está o direito à integridade física do indivíduo, o qual assegura que todos possuem o direito ao corpo são, íntegro e disponível à plena realização de suas funções vitais. Por outro lado, representa dizer que todos possuem o direito ao corpo imune de doenças e demais causas que diminuam a integridade corpórea. Desse ponto balizador, é válido concluir que se deve garantir a todos, indiscriminadamente, o acesso aos benefícios terapêuticos ou preventivos que podem advir da engenharia genética.

A consideração do Direito de Proteção ao Genoma Humano como condição fundamental para a efetivação do Direito à Saúde

Outro marco para o tratamento da questão do acesso e uso do genoma humano é sua compreensão no contexto do Direito à Saúde, consagrado pela Organização Mundial de Saúde como o direito ao “completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença ou outros agravos”.

Entendido como um dos Direitos Sociais, foi tratado no Título da Ordem Social, cuja base se sustenta no primado do trabalho e tem como objetivo o bem-estar e a justiça sociais, estes, portanto, os fins que devem ser buscados pelo Direito à Saúde.

Do Direito à Saúde emanam garantias constitucionais básicas, tais como a garantia de políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário a ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação.

A questão do acesso e uso do genoma humano envolve duas faces aparentemente conflitantes do Direito à Saúde: uma que se expressa pelo direito de ter acesso a melhores condições de tratamento e prevenção de doenças; outra que se refere ao direito de ter respeitada a incolumidade física e psíquica, a dignidade e o bem-estar.

Desse ponto decorre o fato de que o Direito à Proteção ao Genoma Humano deve ter por fim precípua não apenas o desenvolvimento científico e tecnológico, mas, sim, a Proteção do Direito à Saúde, na sua expressão mais ampla que se espraia pelo acesso à melhores condições de saúde e direito de ser preservado de tratamento que macule a dignidade humana, de forma a garantir a efetiva promoção, proteção e recuperação da saúde.

A preponderância do interesse público sobre o privado

A afirmação de um Direito à Proteção ao Genoma Humano deve ter como alicerce a prevalência do interesse público primário, isto é, o interesse da coletividade como um todo, o qual, em última instância, configura-se na eterna observância do benefício coletivo.

É importante lembrar que quase todas as questões que envolvem o assunto ora tratado referem-se ao conflito de interesses entre grupos sociais diferenciados, isto é, entre consumidores e empresas de seguro, entre trabalhadores e empregadores, dentre outros. Dessa forma, a divul-

gação de dados sobre a informação genética individual somente será cabível perante a necessidade social de ter acesso a essa informação.

Na prática, essa assertiva poderia traduzir-se em limites tais como a impossibilidade da utilização de dados referentes à informação genética, por seguradoras que visassem reduzir seus custos, pois o benefício individual auferido pela empresa não poderia servir-se de sucedâneo para relativização do direito à intimidade dos consumidores de planos de saúde. Em síntese, existem pesos sociais diferentes que devem funcionar na tomada de decisões.

A compreensão do papel das Cortes Constitucionais na defesa e construção dos direitos fundamentais

De extrema importância é a compreensão do papel das Cortes Constitucionais na defesa e construção dos direitos fundamentais, isto é, a função que elas desempenham na regulação de conflitos para os quais não há clareza normativa a respeito, sendo mesmo constantes as situações “paranômicas” ou bastante próximas de um “vácuo normativo”

No contexto da discussão sobre a proteção ao genoma humano, o papel das Cortes Constitucionais é vital, uma vez que são o lugar de dissolução dos conflitos sociais vindouros ou já existentes sobre o tema. Perceba-se que sua importância é inclusive, ousamos dizer, maior do que a importância do legislativo nessa seara, pois os litígios muitas vezes não esperam a lei, surgindo antes mesmo que elas existam. Nesse momento, as Cortes devem-se debruçar sobre os princípios constitucionais já dispostos, perante a corrente ausência de normatização específica. Assim tem sido ao longo dos séculos, porque já é fato assinalado historicamente a indelegável função que as Cortes Constitucionais desempenham na garantia e construção dos direitos fundamentais.

As Cortes Constitucionais no século XX justificaram largamente suas existências ao conseguir construir novos direitos e novas soluções mantendo as estruturas formais das normas, ainda que alterando, não raro substancialmente, sua densidade e seu significado nos respectivos sistemas jurídicos.⁵ Barroso versa com elegância sobre a mudança na compreensão do papel das Cortes Constitucionais no século XX ao afirmar:

O que é mais relevante não é a occasio legis, a conjuntura em que é editada a norma, mas a ratio legis, o fundamento racional que a acompanha ao longo de toda a sua

⁵ São emblemáticos os casos da Suprema Corte dos Estados Unidos na transição da negativa de cidadania aos negros daquele país (*Dred Scott vs. Sanford* - 1857), o que insculpiu uma absurda situação de “inexistência civil” a uma raça, para uma condição mediana com a tese do *equal, but separated* (*Plessy vs. Ferguson* - 1896) e, finalmente, a proibição da discriminação em *Brown vs. Board of education* - 1954. A Constituição dos Estados Unidos permaneceu formalmente a mesma, o que não se pode, mui felizmente, dizer a respeito do conteúdo jurídico do princípio da igualdade.

*vigência. Este é o fundamento da chamada interpretação evolutiva. As normas, ensina Miguel Reale, valem em razão da realidade de que participam, adquirindo novos sentidos ou significados, mesmo quando mantidas inalteradas as suas estruturas formais.*⁶

⁶ BARROSO, Luis Roberto. *Interpretação e aplicação da Constituição*. 3. ed. São Paulo: Saraiva. 1999, p. 144.

A própria dinâmica do século XX determinou que o equilíbrio entre a segurança jurídica, que depende em boa parte da estabilidade das instituições, e a constante demanda de mudança e atualização sob o influxo da velocidade dos avanços tecnológicos e das comunicações exigisse uma função mais ativa do Judiciário. As Cortes Constitucionais, como a Suprema Corte estadunidense e os Tribunais Constitucionais europeus, ocuparam o espaço da regulação jurídica não apenas resolvendo conflitos para os quais foram provocados, mas criando regras em precedentes doravante observadas como cristalização de novos significados para conceitos convenientemente permeáveis e abertos como liberdade, vida, igualdade etc.

Nesse diapasão, compreendemos que as Cortes Constitucionais devem estar muito próximas das questões referentes à proteção ao genoma humano, a fim de laborar no sentido de introduzir na resolução da questão dos limites jurídicos e éticos da biotecnologia os princípios idôneos já consagrados no direito comparado. Destes, o principal é o da dignidade da pessoa humana, de gênese jurisprudencial, como vimos, mas no caso brasileiro alçado a condição expressa de fundamento da República.

O tratamento constitucional do desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil e a proteção ao genoma humano

A pesquisa em qualquer área do conhecimento não precisa estar regrada pelo texto constitucional. A ação do pesquisador compreende-se no universo maior da liberdade de ação, de pensamento, e encontra seus limites naquilo que o legislador constitucional, também para outros direitos, considera defeso, isto é, aquilo que se opõe à razoabilidade dos valores eleitos pela “comunidade” para que conste no “livro de regras”, valendo-nos da feliz expressão jurídico-moral de Dworkin.⁷

Nesse sentido, é interessante observar como, no constitucionalismo brasileiro, paulatinamente foi sendo inserido, de forma cada vez mais substancial, o tratamento do desenvolvimento científico e tecnológico. Isto, em última instância, demonstra o alargamento do “livro de regras”.

⁷ DWORKIN, Ronald. *Uma questão de princípios*. São Paulo: Martins Fontes, 2000, p. 16.

Verifica-se que as Constituições brasileiras desde 1824 referiram-se, de um modo ou de outro, à ciência. Em 1824 a palavra *sciencia* aparece uma única e modesta vez no art. 179, XXXIII, quando o texto imperial trata dos “Collegios e Universidades, aonde serão ensinados os elementos das sciencias, bellas letras e artes”.

Com a Constituição Republicana de 1891 inaugura-se uma tradição dos textos constitucionais pátrios, que consiste em estabelecer um dever ao Estado de “animar, no paiz, o desenvolvimento das letras, artes e sciencias...” (art. 35, §2º), ao que a Carta Republicana apõe a companhia, no mesmo dispositivo, da imigração, agricultura, indústria e comércio, bem como tudo o mais de necessário para inventar-se o país. Merece aduzir que essas matérias a Constituição incumbia ao Congresso Nacional, “mas não privativamente”.

A Constituição de 1934, por sua vez, já fala em União, Estados e Municípios como responsáveis por “favorecer e animar o desenvolvimento das sciencias” (art. 148), em capítulo próprio para Educação e Cultura, com o título específico Da Família, Educação e Cultura.

A Constituição de 1937 é categórica ao afirmar que “a arte, a ciência e o seu ensino são livres à iniciativa individual e à de associações ou pessoas coletivas, públicas e particulares. É dever do Estado contribuir, direta e indiretamente, favorecendo ou fundando instituições artísticas, científicas e de ensino”, mantendo a mesma denominação de capítulo – Educação e Cultura –, ressaltando-se que esta Constituição não adotou a classificação de Títulos para as matérias.

Na seqüência, a Constituição de 1946 afirma, no seu artigo 173, que “as ciências, as letras e as artes são livres”. No parágrafo único do art. 174, após estabelecer que o amparo à cultura é dever do Estado, comanda que “a Lei promoverá a criação de Institutos de Pesquisas, de preferência junto aos estabelecimentos de ensino superior”.

Em 1967 e 1969 a Constituição e a Emenda Constitucional nº 1, nos seus artigos 171, parágrafo único, e 179, parágrafo único, limitam-se a dizer que “o poder público incentivará a pesquisa e o ensino científico e tecnológico”.

No entanto, a partir de 1988, a Constituição Federal introduz modificações significativas a respeito do tema ciência e tecnologia. Na tradição das Constituições republicanas, também pontifica como dever do Estado a promoção da pesquisa, mas acrescentam-se novos temas tais como: a referência à necessidade da pesquisa científica básica visar o

bem público e o progresso das ciências; a diferenciação entre pesquisa científica básica e pesquisa tecnológica, visando esta o desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional e a solução dos problemas brasileiros; atribuição ao Sistema Único de Saúde do dever de incrementar em sua área de atuação o desenvolvimento científico e tecnológico, revelando ser um dos elementos fundamentais para a elaboração de políticas de saúde.

Crucial, por outro lado, é a importância que a Constituição dá à participação dos estados-membros nas questões que envolvem os temas referentes a ciência e tecnologia. Na medida que o art. 23, ao disciplinar as áreas de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, refere-se ao seu ordinário dever de “proporcionar os meios de acesso à cultura, à educação e à ciência” e, por seu turno, o art. 24, ao versar sobre a competência concorrente da União, dos Estados e do Distrito Federal, menciona a possibilidade de tais entes federativos legislarem sobre “*previdência social, proteção e defesa da saúde*” (inciso XII. Grifos nossos), inegavelmente o tema da biotecnologia é também compreendido no espaço legislativo definido pela Constituição aos entes federativos, dadas as normais condições de harmonia legal do sistema brasileiro.

Esse é um domínio temático dos quais os Estados e Municípios, mormente os primeiros, podem e devem participar. Afirmamos categoricamente que o sistema brasileiro permite e mesmo exige a definição de posições dos Estados no que tange aos limites do desenvolvimento e destacadamente da aplicação dos avanços biotecnológicos nos seus respectivos territórios, dentro dos limites de competência existentes.

Verifique-se, ainda, que a Constituição insere nos princípios gerais da ordem econômica a necessidade de que o desenvolvimento econômico do Brasil seja capaz de proporcionar a todos existência digna. Isso significa, bem esclarecido o argumento, que os investimentos do mercado no desenvolvimento de tecnologias concernentes ao acesso e uso do genoma humano, ou de outras espécies, não pode olvidar tal princípio, sob pena de desabrigar-se do sistema constitucional.

Por fim, a obrigatória referência ao art. 225 da Constituição, a partir do qual permitimo-nos sublinhar dois elementos que devem presidir qualquer raciocínio constitucional acerca do tema: a garantia da integridade e da diversidade do patrimônio genético. O referido postulado constitu-

cional foi regulamentado pela Lei de Biossegurança nº. 8.974, de 1995, que abordou a temática por meio da proibição de manipulação genética de células germinativas humanas, de intervenção em material genético *in vivo*, exceto para tratamento; produção, armazenamento ou manipulação de embriões humanos destinados a servirem como material biológico disponível.

O assunto é ainda tangencialmente tratado pela Lei nº. 9.279 (Propriedade Industrial), de 1996, que lhe dedica pouco espaço, apenas referindo-se à impossibilidade jurídica do patenteamento do todo ou parte de seres vivos, salvo os microorganismos transgênicos. Esta lei propiciou a elaboração de Instruções Normativas por parte da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), que, editando a Instrução Normativa nº. 8 da própria CTNBio, vedou a manipulação genética de células germinativas ou de células totipotentes⁸, bem como experimentos de clonagem radical por meio de qualquer técnica de clonagem. Da mesma forma, a Instrução Normativa nº. 9, que trata de intervenção genética em seres humanos, determina que somente serão consideradas propostas de intervenção ou manipulação genética em humanos aquelas que envolvam células somáticas, sendo proibida qualquer intervenção ou manipulação genética em células germinativas humanas.

No decorrer das últimas décadas, têm despontado iniciativas do Poder Legislativo no sentido de regulamentar total ou parcialmente o uso e acesso ao genoma humano. Em sua maioria, essas proposições não se referem à garantia de preservação da integridade do genoma humano ou ainda à preservação da autonomia do indivíduo. Ao contrário, a maior parte das iniciativas visa questões relacionadas à identificação da paternidade, por meio do exame obrigatório de DNA.

Apenas em segundo plano, verificam-se iniciativas que visam garantir a tentativa de coibir atos discriminatórios embasados na informação genética do indivíduo.

Creemos, no entanto, que essas medidas serão apenas paliativas se não existir um efetivo e profundo trabalho de incentivo ao fortalecimento da reflexão ética que permita consolidar a definição do *inaceitável* e do *desejado*, tendo em vista a necessidade de aceitação dos limites da tecnologia, a garantia da proteção dos indivíduos e da coletividade, a garantia da segurança jurídica e a estruturação de instrumentos jurídicos eficazes alinhada com a concepção de universalismo já exposta.

⁸ Células totipotentes: células não-diferenciadas que posteriormente começam a se diferenciar nos vários tecidos que vão compor o organismo: sangue, fígado, músculos, cérebro, ossos etc.

Outras fontes de consulta

AZEVEDO, Eliane Elisa de Souza e. *O Direito de Vir a Ser após o Nascimento*. Porto Alegre: Edipucrs, 2000.

CUPPIS, Adriano de. *Os Direitos da Personalidade*. Lisboa: Morais, 1961.

DIAFÉRIA, Adriana. Princípios Estruturais do Direito à Proteção do Patrimônio Genético Humano e as Informações Genéticas Contidas no Genoma Humano Como Bens Difusos. In: CARNEIRO, Fernanda & EMERICK, Maria Celeste. *A Ética e o Debate Jurídico sobre o Acesso e Uso do Genoma Humano*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

GEDIEL, J. A. P. Tecnociência, Dissociação e Patrimonialização Jurídica do Corpo Humano. In: FACHIN, L. E. *Reperendo os Fundamentos do Direito Civil Brasileiro Contemporâneo*. Rio de Janeiro: Renovar, 1998.

STEINER, Henry J. & ALSTON, Phillip. *International human rights in context*. New York: Oxford Press, 2000.

Eliane Cristina Pinto Moreira é advogada, mestre em Direito das Relações Sociais e professora do Curso de Direito do Centro Universitário do Pará. moreiraeliane@hotmail.com

Sandro Alex de Souza Simões é procurador federal, mestrando em Direito pela Universidade Federal do Pará e professor e coordenador do Curso de Direito do Centro Universitário do Pará.

sandroalex@cesupa.br

O que ressalta do panorama constitucional referido, da legislação infra-constitucional, bem como das normas em formação, é a crescente preocupação do regramento das atividades científicas e tecnológicas, reafirmando os postulados que aqui foram inicialmente referidos, tais como: a busca da finalidade humana do desenvolvimento que deve ser expresso pelo direito à dignidade; o fim precípua de proteção coletiva do Direito de Proteção ao Genoma Humano; a persecução do direito à saúde; a preponderância do interesse público sobre o privado. Em última instância, esses postulados representam a afirmação do direito de opor-se ou resistir ao mau uso do conhecimento científico e tecnológico.

Considerações finais

É fundamental que as discussões sobre a o Direito à Proteção ao Genoma Humano se dêem de forma universalizada, para que sua afirmação como Direito Humano fundamental à consecução do desenvolvimento científico e tecnológico sustentável seja consolidada como resistência ao mau uso do conhecimento e da tecnologia. Portanto, as negociações internacionais nesse campo são uma etapa indispensável para a construção dessa teoria.

Dessa forma, acreditamos que os países não devem discutir isoladamente a questão, nem tão pouco se confortarem com a elaboração de leis internas desvinculadas do contexto global.

A Declaração sobre o Genoma Humano da Unesco é, do nosso ponto de vista, o passo de maior relevância dado na formação do Direito Universal de Proteção ao Genoma Humano, e seu texto fornece preceitos importantíssimos para o tratamento da questão.

Adverta-se, porém, que leis e normas não evitarão que ocorram danos aos indivíduos e à sociedade advindos do mau uso do conhecimento científico. É por isso que o fortalecimento da ética e a aceitação dos limites da biotecnologia – a compreensão de que a tecnologia ajuda, mas não garante a superação de problemas que só podem ser eliminados por ações políticas ou sociais – são fundamentais no caminho da proteção da integridade física e psíquica dos seres humanos perante as novas técnicas que envolvem o genoma.

RESPOSTA POPULAR À CIÊNCIA E À TECNOLOGIA FICÇÃO E O FATOR FRANKENSTEIN

Jon Turney

Uma história jornalística, de caráter global, na área da biologia, pode servir de introdução à análise das relações entre ciência, cientistas e histórias de ficção: a clonagem da ovelha Dolly no Instituto Roslin, na Escócia, em 1996. (Dolly nasceu em 5 de julho de 1996, mas seu nascimento foi revelado ao mundo apenas em fevereiro de 1997). O debate subsequente sobre a clonagem mostra muitas das características importantes do uso de histórias de ficção na discussão popular sobre a ciência e a tecnologia. Também sugere algumas das maneiras pelas quais a biologia tem um papel especial na representação popular da ciência, papel este que surgiu com o arquétipo do cientista louco, apresentado pela primeira vez no ano de 1818, em Frankenstein, romance de juventude de Mary Shelley.

I

Por trás de muitos esforços meritórios para informar e instruir o público sobre questões relacionadas à ciência, esconde-se uma figura sorrateira que pode estragar um bom trabalho: o cientista louco. Sozinho (na maior parte das vezes) em seu laboratório, ele trabalha incansavelmente – seus esforços pontuados apenas por gargalhadas –, concentrado em sua tarefa de finalizar sua criação mais recente e soltá-la em um mundo que de nada suspeita. Ele guarda seu sarcasmo mais virulento para aqueles que querem explicar as virtudes da energia nuclear ou as novas qualidades atraentes dos alimentos geneticamente modificados.

É esta a imagem que muitas vezes temos dos cientistas. Mas a acusação feita pelos críticos da ciência de que a imagem dos cientistas está escravizada às histórias de ficção e induzida ao erro por estereótipos de desenhos animados é limitada. Na verdade, as histórias que envolvem a ciência são mais complexas do que se imagina e elas podem desempenhar um papel importante no debate sobre as tecnologias na vida real. Tais histórias podem permitir que os leigos expressem seus sentimentos que, de outro modo, seriam difíceis de articular, mas que não devem ser ignorados. Elas podem, também, ajudar a informar as pessoas a respeito de novos modos de pensar sobre as aplicações reais ou potenciais da ciência. Dessa forma, os detalhes dessas histórias e o modo pelo qual eles são invocados merecem atenção.

II

Uma série de sentimentos foram expressos quando foi publicada a notícia do nascimento de Dolly, tendo predominado a surpresa e o presságio. Mas, para qualquer observador de longo prazo dos debates sobre a biologia experimental, ainda havia outro sentimento mais forte do que estes: o *déjà vu*.

Esse sentimento – de que, de algum modo, já tínhamos visto isto antes – relata-nos algumas coisas interessantes sobre como debatemos essas tecnologias. Há, ao mesmo tempo, uma compulsão para especular sobre as possibilidades finais e uma relutância em ocupar-se com especificidades. Várias e várias vezes, alguns arquétipos e histórias foram usados para representar um grande conjunto de possibilidades tecnológicas. No século XX, um pequeno conjunto de técnicas especiais representou as perspectivas de uma revolução biológica em grande escala. Durante alguns anos, a possibilidade de fertilização *in vitro* inspirou a imagem

dominante do que poderia significar a biologia – o bebê em um recipiente de vidro. Agora que a tecnologia do “bebê de proveta”, pelo menos em algumas de suas variações, é prática médica aceita em muitos países, a clonagem parece ter assumido o seu lugar. Ela simboliza todo um complexo de desenvolvimentos nas biociências e funciona como um pára-raios para as ansiedades sobre suas conseqüências para o homem.

A evidência disso vem, em parte, da maneira com que muitas vezes estruturamos a discussão sobre essas tecnologias. Muitos comentadores, especialistas em bioética e jornalistas usam um pequeno conjunto de histórias para evocar imagens de seus possíveis efeitos sobre a vida humana. Em muitos desses debates – que vão da discussão sobre fertilização *in vitro* e DNA recombinante até alimentos geneticamente modificados e clonagem – o “roteiro” mais predominante é uma versão reduzida de *Frankenstein*.

Esse romance pode ser considerado um mito moderno, por causa de suas incontáveis versões. Se quisermos falar dessa abstração elusiva da imaginação popular, temos de decidir se algumas histórias são ou não, de algum modo, mais importantes que outras: e *Frankenstein* é mais importante porque tem essa qualidade mítica. A história tem vários elementos que ajudam a explicar sua influência duradoura na estruturação de reações à ciência e à tecnologia modernas e, especialmente, às tecnologias biológicas. Há uma ambivalência do conhecimento: um ponto freqüentemente destacado na tradição ocidental. Ambivalência é um termo-chave para o nosso comportamento diante de todas essas tecnologias. Ao mesmo tempo, desejamos e tememos as coisas que essas tecnologias podem fornecer. Mas como freqüentemente nos dizem que esses sentimentos não têm lugar em um debate “racional”, eles raramente encontram expressão legítima na discussão formal da ciência. Esses sentimentos encontram outras saídas, em histórias e imagens que passam a ser associadas a idéias científicas específicas.

Em meio a essa ambivalência geral, a idéia de criar vida simboliza o que mais desejamos e tememos. A idéia estimulou toda uma tradição de contos frankensteinianos durante os últimos 200 anos. “Está vivo!”, exulta o cientista quase histérico, no auge da cena da criação, na versão de *Frankenstein* do filme de James Whale, de 1931. E sabemos que seu sucesso, ao dar vida a um corpo projetado por ele mesmo, é o início da sua queda.

A cena de Whale é provavelmente a mais memorável entre as centenas de cenas semelhantes que estão em peças de teatro, livros, histórias em quadrinhos e produções de

cinema e televisão, que repetiram os elementos básicos do conto clássico de Mary Shelley. O que a autora chamou de sua “progênie horrenda” deixou de ser um romance sem importância e se transformou em um mito cultural completo.

Atualmente, as referências à história parecem mais numerosas do que nunca. Quanto mais sucesso tivermos ao transformar ciências da vida em tecnologia, maior será a nossa ambivalência. Frankenstein estrutura e dá forma a essa ambivalência de uma maneira que nos parece indispensável. Ao considerarmos o progresso da biologia do século XX, vemos grandes triunfos. No entanto, tememos que esse triunfo azede. Reconhecemos que pode haver grandes benefícios, mas também ameaças bem menos definidas na capacidade da tecnologia biológica de quebrar velhas fronteiras e dissolver categorias já tidas como certas. Há algo profundamente inquietante aqui, algo que sempre esteve implícito no projeto baconiano da ciência, que se torna menos atraente à medida que estamos mais próximo de alcançá-lo.

Na verdade, a corrida nebulosa que a biologia realiza em direção à possibilidade de tornar real a tecnologia potencial, sua subordinação final do mundo natural pela técnica, produzem tensões em um grau como nunca se atingiu desde o início da ciência moderna. Na atualidade, os geneticistas em geral consideram isso um movimento “anti-ciência”, embora as pesquisas de opinião não encontrem evidências neste sentido. Essa resposta também é parte da relutância de se ocupar com coisas específicas, com objeções a desenvolvimentos científicos específicos. Deixa-se de perguntar por que um aumento do poder de manipulação nas ciências da vida pode provocar inquietação pública. Ao tentarmos incentivar o debate sobre o desenvolvimento e o controle das tecnologias que estão agora surgindo em grandes quantidades nos laboratórios acadêmicos e nas indústrias de biociência, devemos buscar uma explicação para as imagens que dão forma a esse debate mais satisfatória que a alegação de que elas brotam de “pornografia genética”, para citar meu colega Lewis Wolpert, da Universidade de Londres e ex-presidente Comitê Britânico para a Compreensão Pública da Ciência (British Committee on Public Understanding of Science).

Para explicar o caráter duradouro de Frankenstein, um bom começo é tentar isolar o que sobreviveu de todas as versões do mito desde 1818. A história, apesar de ser muito conhecida, é assustadora. É assustadora porque retrata um empreendimento humano que se torna incontrolável

e se volta contra seu criador. Isto está muito fortemente relacionado aos primeiros mitos associados à conquista do conhecimento. Mas Frankenstein trata de ciência. E mais: a ciência é realizada com as melhores das intenções ou, em caso contrário, por motivos com os quais facilmente podemos nos identificar. Nas versões mais impressionantes, o mito nunca é claramente uma história anticiência. Há algo de admirável no Victor Frankenstein do romance, no “Henry” Frankenstein do filme de James Whale e até no cruel Barão de Frankenstein de Peter Chuhing na seqüência de filmes de Hammer. Certamente, o mesmo ocorre em relação ao idealismo de Kenneth Branagh em seu título enganador *Mary Shelley’s Frankenstein*. Mesmo assim, nossas simpatias estão sempre divididas entre Frankenstein e seu monstro. O roteiro de Frankenstein, em suas formas mais evidentes, incorpora uma ambivalência em relação à ciência, ao método e ao motivo. Tal ambivalência nunca é solucionada.

A permanência da ciência em todas as últimas versões da história é a característica mais surpreendente do mito. No texto original, a criação do monstro é feita em não mais de 30 páginas. São poucos os detalhes científicos. Mas aquelas primeiras 30 páginas fornecem a semente de quase todas as imagens decorrentes de Frankenstein que aparecem nas muitas variações posteriores da história sobre ciência e os cientistas.

Essas histórias incluem modelos para os cientistas cujas boas intenções os tornam cegos diante da verdadeira natureza de seu empreendimento. “A riqueza era um objetivo menor, mas que glória seria dada à descoberta se eu conseguisse banir a doença da estrutura humana e tornar o homem invulnerável a qualquer coisa que não seja a morte violenta!”, proclama Victor. E o mesmo dizemos todos nós, leitores mortais. Mas Victor personifica também o cientista à procura de um conhecimento de Fausto. “O mundo era para mim um segredo que eu queria adivinhar”, lembra. Ele recorda que “apenas quem já experimentou os atrativos da ciência pode imaginá-los” ou, como um materialista estreito, que “ao me educar, meu pai tomou todas as precauções para que eu não ficasse impressionado com os horrores sobrenaturais (...) Um cemitério, para mim, era apenas um receptáculo de corpos privados de vida”. Há também indícios de que a ciência é capaz de se orientar sozinha, independentemente da vontade do cientista e eventualmente capaz de dominá-lo. “A filosofia natural”, reflete tristemente Victor, “é o gênio que regulou meu destino”. Em meio

a todas as simplificações, omissões e reelaborações feitas a partir do roteiro original, permanece a identificação de Victor como cientista. É a ciência que dá a ele seu sucesso, e esse sucesso lhe dá poder sobre a vida. Mesmo que seu personagem tenha sido concebido antes da biologia ser uma disciplina especializada, Frankenstein sempre foi um ‘protobiólogo’.

Desse modo, a permanência do mito testemunha uma profunda inquietação em relação à descoberta científica em geral e, em particular, às ciências da vida. E foi Mary Shelley quem lançou mão justamente de uma inquietação em um estágio notavelmente inicial no desenvolvimento da moderna ciência da vida.

O que agora chamamos ciência biomédica, e a possibilidade de uma biologia tecnicamente eficaz, sempre teve importância na formação da atitude das pessoas em relação à ciência. Sempre fomos prisioneiros do corpo, vítimas da morbidade e da mortalidade, e desejamos o poder que a biologia pode nos dar para aliviar esses pesos.¹

Isso ficou mais fácil de se estabelecer recentemente. Por exemplo, grande parte das reportagens na imprensa sobre ciências refere-se a temas da medicina e da biologia. Folheie as páginas de um grande jornal dos primeiros anos do século XX – por exemplo, o *San Francisco Chronicle* – e você irá encontrar reportagens de primeira página sobre novos procedimentos cirúrgicos radicais, sobre a possibilidade de se escolher o sexo de um bebê ou sobre técnicas científicas propostas para prolongar a vida e sobre supostas curas para o câncer. Essas matérias mostram a convergência precoce entre os valores da notícia e o território da biomedicina. A pesquisa biológica e a prática médica significam nascimento, sexo e morte; sofrimento, doença e incapacidade.

Desde o início, o sucesso de Mary Shelley foi resultante do fato de ela ter sido capaz de unir essas preocupações ao mito de Fausto, para criar algo novo. O contemporâneo *Fausto* de Goethe, por exemplo, está interessado em dominar o mundo por meio de uma transformação física e social. O homem será transformado no novo mundo de Goethe, mas apenas através de todas as outras mudanças que Fausto apresenta. Frankenstein, por outro lado, quer transformar diretamente o ser humano. Se ele conseguir descobrir o segredo da vida, então poderá gerar uma nova espécie. Para isto, fará experiências diretamente no corpo.

Aqui, Mary Shelley intuiu o poder de uma ameaça que se tornaria mais grave com a passagem do tempo. Em um mundo no qual as mudanças industriais e tecnológicas já estavam aparentes, havia uma esfera de existência que estava

¹ Desenvolvo uma elaboração bem mais extensa e detalhada sobre esse tema no livro TURNEY, Jon. *Frankenstein's Footsteps: Science, genetics and popular culture*. New Haven: Yale University Press, 1998, também traduzido como TURNEY, Jon. *Sulle tracce di Frankenstein: Scienza, genetica e cultura popolare*. Torino: Edizioni di Comunità, 2000. Notas completas e referências a esse material podem ser ali encontrados.

isenta disso. O mundo natural, embora pudesse ser remodelado por ataques físicos à paisagem, embora pudesse ser saqueado ou devastado, ainda não estava aberto à manipulação tecnológica. As formas e as variedades das criaturas, a hierarquia das espécies, os imperativos biológicos da existência eram pontos fixos em um mundo sempre em mutação.

O corpo humano forneceu também um terreno imutável para experimentar outras mudanças. É claro que isto não significa que a compreensão que se tinha do corpo ou as idéias sobre sua constituição não mudassem. Mas o próprio corpo não era visto como mutante por aqueles que presenciaram a primeira arrancada da modernidade. Embora o corpo morto tenha sido dissecado durante dois séculos, em busca de uma ciência do interior e tenha causado uma profunda impressão nas culturas da Renascença e Moderna, esse conhecimento ainda era amplamente descritivo. O corpo vivo ainda não era objeto das sondagens da ciência. Mas Mary Shelley deu o salto de imaginação necessário e modelou a imagem de uma ciência que atuava sobre o corpo para transformá-lo. Esforçando-se para criar uma história que “despertasse horror sensacional”, ela compreendeu que a melhor história de horror estava enraizada no poder sobre o corpo. Frankenstein centrou a atenção nessa perspectiva no início da Era Moderna. Ainda nos sentimos atraídos pela história porque o poder agora é nosso.

O mito de Frankenstein, então, acerta em cheio o projeto iluminista. E agora que perdemos a fé na capacidade de melhorar as pessoas através de instrumentos sociais, enfrentamos um paradoxo. O aperfeiçoamento do homem por meios artificiais ainda é atraente porque detestamos a estrutura frágil e mortal que temos. Mas só conseguiremos atingir a perfeição se pusermos os poderes para tal nas mãos de pessoas que existem agora, imperfeitas como sabemos que elas são. Isto é responsável por gerar em grande medida nossas ambivalências.

III

O que estou defendendo aqui é que o elemento temático de Frankenstein nos faz com que, de maneira geral, tenhamos uma sensação de *déjà vu* quando nos deparamos com a discussão em torno da clonagem. Há razões mais específicas, quando olhamos para os episódios separados do debate sobre as recentes tecnologias biológicas. Há paralelos especialmente surpreendentes com a história da fertilização *in vitro*. Ambas foram previstas pela literatura. O

² SQUIER, Susan. *Babies in Bottles: Twentieth-century visions of reproductive technology*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1994.

Ver também KAPLAN, E. Ann & SQUIER, Susan (eds). *Playing Dolly: Technocultural Formations, Fantasies and Fictions of Assisted Reproduction*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1999.

³ Compare KASS, Leon. Making Babies: the new biology and the 'old' morality, *Public Interest*, 26, 1972 e KASS, Leon & WILSON, James. *The Ethics of Human Cloning*. Washington: American Enterprise Institute, 1959.

⁴ ROSTAND, Jean. *Can Man be Modified?*. tradução de J. Griffin, Secker e Warburg, New York: Basic Books, 1959.

⁵ TAYLOR, Gordon. *The Biological Time Bomb*. London: Thames & Hudson, 1968.

bebê de proveta é um ícone do século XX, como Susan Squier explorou em detalhes.² Isso nos diz que não é convincente a separação que alguns fazem entre o reino da imaginação e o domínio científico, ou entre os reinos legal e ético. Há uma via de mão dupla aqui: os cientistas tanto são influenciados quanto influenciam a imagem popular do que pode ser possível com a tecnologia. Há uma estrutura semelhante para o caso da fertilização *in vitro* e para a clonagem. Sabia-se que Robert Edwards e Patrick Steptoe estavam esperando conseguir a gestação depois da fertilização *in vitro* desde 1969, quando eles publicaram microfotografias de um óvulo fertilizado em uma placa de Petri. Antes do nascimento de Louise Brown, eles desenvolveram um trabalho que durou dez anos. Muitos dos argumentos a favor e contra a fertilização *in vitro*, principalmente os contra, eram muito parecidos com os que ouvimos hoje. Para dar apenas um exemplo, os argumentos contra a fertilização *in vitro* dados por Leon Kass, especialista em bioética norte-americano, eram essencialmente idênticos ao que hoje ele levanta contra a clonagem humana: Não dá para saber, do ponto de vista ético, como fazer isso; esse é outro passo no caminho inevitável em direção à industrialização da reprodução e à desvalorização do ser humano. Em *The ethics of human cloning*, Kass apresenta mais uma vez uma escolha que ele tem incentivado durante os últimos 20 anos, “se seria ou não uma boa coisa, falando do ponto de vista humano, dizer sim, em princípio, para a via que leva (na melhor das hipóteses) à racionalização desumanizada do [livro de Aldous Huxley] *Brave new world*”.³ Em português, o livro ganhou o título *Admirável mundo novo*.

Um terceiro nível de *déjà vu* vem da própria história da clonagem. Isto não ocorre unicamente por causa de Huxley, embora o *Admirável mundo novo* esteja quase tão presente nesses debates quanto Frankenstein. O significado da criação artificial acompanhada pela produção em massa já foi citado diversas vezes. Há inúmeros exemplos de comentários não-ficcionais sobre a biologia, pelo menos desde o final dos anos 50. O biólogo francês Jean Rostand,⁴ por exemplo, em seu livro cuja versão em inglês foi intitulada *Can man be modified?* faz com que a possibilidade de clonar seres humanos seja uma de suas principais exposições em um livro que prefigura a revolução biológica no momento em que ela se tornou uma idéia popular, nos anos 60. *The biological time bomb*, de Gordon Rattray Taylor,⁵ do final da década de 60, um livro mais conhecido, é em boa medida

uma boa nova apresentação de Rostand. Então, houve um pânico moral que apareceu com a publicação do livro de David Rorvik, em 1978, *In his image*, que simulava um relato não-ficcional do primeiro clone humano.

Rorvik, um jornalista norte-americano especializado em ciência, declarou ter assistido uma clonagem de ser humano. Ele apresentou sua história como se fosse um fato real e deu referências abundantes para dar suporte à sua declaração de que esse feito era possível. A declaração foi enfaticamente negada por alguns cientistas, especialmente o biólogo inglês Derek Bromhall, que ficou furioso por seu trabalho ter sido citado e demolindo de maneira convincente a credibilidade científica do livro.

Bromhall também acusou Rorvik de, por ganância, apresentar ficção como fato. Tal declaração contradizia os motivos expostos pelo autor no epílogo, no qual ele expressava a esperança de que:

*(...) muitos leitores ficarão persuadidos pela possibilidade, talvez mesmo pela probabilidade, que eu descrevi e se beneficiarão com essa “antevisão” de um assombroso desenvolvimento, cuja época (...) aparentemente ainda não chegou. E se este livro, por algum motivo, aumentar o interesse e a participação do público em decisões relacionadas à engenharia genética, ficarei mais do que recompensado pelos meus esforços.*⁶

⁶ RORVIK, David. *In his image: the cloning of a man*. London: Hamish Hamilton, 1978, p. 181.

Aqui, Rorvik parece admitir que o livro foi uma tentativa de explorar as dificuldades dos cientistas em responder a declarações como as que ele fazia. Deliberadamente atenuando os limites entre fato e ficção, ele esperava estimular a discussão pública. Conseguiu isto, consideravelmente ajudado pelo tumulto causado pela denúncia científica. Embora fosse condenado como um embuste literário, o livro foi amplamente lido. O que era um romance mal escrito, com discussões éticas prolixas colhidas da literatura acadêmica, tornou-se um texto que recebeu muitas indicações e os direitos autorais da brochura norte-americana foram vendidos por 250 mil dólares.

Um último exemplo do mundo anglofônico é o episódio em que a clonagem foi tema de reportagem de primeira página do jornal *New York Times*, escrita por Gina Kolata e que virou capa das revistas *Time* e *Newsweek*, além de dar origem a um grande número de comentários e condenações. Não estou me referindo ao nascimento da Dolly, mas, sim, ao episódio em 1993 em que Gerry Hall e Robert Stillman conseguiram dividir um embrião e anunciaram o feito como se fosse “clonagem”. Depois, eles afirmaram ter

ficado surpresos com a intensidade da resposta geral. Mais uma vez, o tratamento dado na *Time* e na *Newsweek*, na mesma época, foi idêntico a quase tudo que apareceu depois do nascimento da Dolly, levando-se em conta as questões suscitadas, as histórias de ficção referidas e até mesmo os especialistas em bioética consultados. Ambas as revistas também comentaram as discussões prévias sobre clonagem presentes nas histórias de ficção. Sob a manchete “Clone Hype” (Sensacionalismo em torno da clonagem), a reportagem principal da *Newsweek* fez várias referências tanto ao livro de Rorvik quanto a histórias sobre dinossauros clonados e Hitleres múltiplos, para enfatizar que o trabalho não era sobre isto. A *Time* adotou uma linha muito semelhante, enfatizando a sensação provocada pelo trabalho no mundo todo. Afirmava, ainda, que 77% dos norte-americanos entrevistados naquela semana queriam ver essas pesquisas proibidas ou temporariamente interrompidas. O repórter observou que a pesquisa real relatada “não parecia, em muitos aspectos, merecedora de estardalhaço”. E a revista fez questão de mostrar o número de especialistas em bioética que contribuíram com comentários para a cobertura mais ampla da imprensa e que descreveram cenários que iam bem além da tecnologia existente. Essa sugestão foi enfatizada com um artigo à parte, “Cloning Classics” (Clássicos sobre a clonagem), resumindo obras de ficção sobre o assunto, desde *Admirável mundo novo* de Huxley, até o romance *The cloning of Joanna May*, de Fay Weldon. O artigo começava com a observação de que “quando se trata de lidar com a clonagem, os especialistas em ética e os autores de ficção científica têm tarefas quase idênticas”.

O que deveríamos, então, concluir dessas muitas variedades de *déjà vu*? Talvez devêssemos ver a clonagem como o símbolo mais visível das nossas ansiedades gerais relacionadas às dúvidas de onde as biotecnologias poderiam nos levar. A fertilização *in vitro* já desempenhou esse papel e muitas pessoas se opuseram a ela. Mas quando foram apresentados os resultados, uma grande parte do público foi distraída pelas imagens onipresentes de um lindo bebê concebido por meio dessa tecnologia. Pode ser que ainda vejamos essa trajetória recapitulada. É certo que já temos algo que nos faz lembrar a hesitação do governo que caracterizou a condução da regulamentação da fertilização *in vitro* na Grã-Bretanha. Foram necessários muitos anos após o nascimento de Louise Brown no Reino Unido para que o governo se sentisse capaz de decidir como regulamentar essa

tecnologia. Do mesmo modo, embora menos protelada, houve atrasos com a clonagem. Uma consulta pública oficial feita em 1998 serviu de subsídio para se formular uma recomendação que foi levada aos ministros. Mas estes decidiram realizar mais uma rodada de consulta pública até tomarem a decisão e permitir o que agora se chama clonagem “não-reprodutiva” – essencialmente experimentos em embriões fertilizados *in vitro*, no caso do Reino Unido, até 14 dias depois da concepção. Eles também tinham a intenção de proibir qualquer tentativa de levar a termo um clone humano.

Essa proibição – que evidentemente também existe em muitos outros países – sugere que haja base para se supor que a história não precisa se repetir. Algumas das características que permitiram que a fertilização *in vitro* fosse aceita naturalmente não serão tão fáceis de serem reproduzidas no caso do primeiro clone humano – ainda que o mundo não necessariamente fosse parecer radicalmente diferente logo após o nascimento do primeiro clone humano, se isto ocorresse. O primeiro bebê de proveta foi representado como a realização das expectativas em se obter uma família nuclear. Como uma manchete francesa apresentou, era a “Vitória da ciência: Vitória do amor”. A família foi representada como um casal normal, heterossexual, casado, que conseguiu produzir uma criança com alguma ajuda técnica especial. Desde então, a fertilização *in vitro* tem sido representada na mídia como uma série quase contínua de histórias de sucesso, pontuada por pânico morais ocasionais sobre a transgressão dos limites de idade, raça ou orientação sexual.

A clonagem pode seguir o mesmo caminho. Mas há outra possibilidade: ela pode permanecer como um símbolo de um passo que vai longe demais. Algumas das questões levantadas e que estão sendo exploradas em histórias de ficção são mais velhas que *Frankenstein*. Já há um número e uma diversidade maior de histórias sobre a clonagem humana – sobre questões de identidade, duplicação, ameaça sexual etc. – do que jamais houve para a fertilização *in vitro*. E essas questões parecem perturbar as pessoas mais do que o mero fato da concepção assistida, o que talvez explique o impulso dos cientistas em insistir que a clonagem humana vai permanecer sempre ficção científica.

Essa é uma das razões pelas quais o episódio mais recente na saga da clonagem evocou um debate mais prolongado. O resultado paradoxal no caso da Dolly foi que ela era a realização de uma idéia que vem sendo discutida por

mais de um século. E, no entanto, seu advento em carne e osso foi tratado como uma enorme surpresa. A *Newsweek* sugeriu:

Há 20 anos, quando apenas o humilde girino tinha sido clonado, os especialistas em bioética levantaram a possibilidade de que os cientistas, algum dia, pudessem aperfeiçoar a tecnologia de forma a incluir também os seres humanos. Eles queriam que a questão fosse discutida. Mas os cientistas atacaram as preocupações dos moralistas classificando-as de alarmistas. Deixem a pesquisa progredir, diziam os cientistas, porque a clonagem de seres humanos não servirá para qualquer finalidade científica discernível. Agora, a clonagem de seres humanos está ao alcance e a sociedade como um todo foi pega com as calças éticas na mão.

Se isto aconteceu, não foi por falta de tentativas por parte de alguns articulistas. Mas agora, embora haja ainda argumentos fortes para defender que seria pouco provável que a clonagem humana se tornasse possível um dia – para o que alguns cientistas rapidamente chamaram a atenção –, houve uma determinação amplamente compartilhada de que a possibilidade deveria ser seriamente considerada. As pessoas que reagiram à Dolly – incluindo até mesmo o presidente Clinton, que solicitou a seus assessores um relatório com um “prazo de 90 dias” – quiseram entender com maior clareza o que poderia significar a clonagem de seres humanos.

Embora fosse amplamente reconhecido que a clonagem ainda era essencialmente um símbolo que representava um conjunto grande de tecnologias, que havia questões importantes em torno do uso industrial de animais associadas ao futuro da Dolly como uma incubadora de medicamentos e que, com muita probabilidade, seres humanos clonados não seriam idênticos aos seus antepassados genéticos, o que realmente atraiu a atenção da audiência dos meios de comunicação foi a perspectiva do fim da individualidade biológica. E os cenários fictícios abundaram, à medida que os jornalistas tentaram ajudar os leitores a pensar nas possíveis implicações. Por exemplo, a revista *Time* – que, como a *Newsweek*, colocou novamente a clonagem como matéria de capa – publicou um artigo de quatro páginas sobre problemas éticos futuros da clonagem. Para culminar, completou sua reportagem especial sobre a Dolly com uma história irônica de ficção escrita por Douglas Copeland. A revista parecia estar levando a sério a sugestão de 1993 de que os especialistas em ética e os autores de ficção científica tinham tarefas semelhantes.

IV

Isto parece sugerir que a criação de histórias de ficção sobre as possíveis aplicações da tecnologia biológica em seres humanos é uma contribuição legítima a ser debatida. Tanto a criação literária quanto a elaboração de cenários pelos especialistas em bioética são maneiras de alertar a sociedade sobre as possibilidades que merecem discussão antes que sejam colocadas em prática – certamente um ponto de vista que os escritores tendem a compartilhar. Os cientistas, no entanto, não têm tanta certeza. Eles ainda tendem a argumentar que seus diversos públicos não têm capacidade de distinguir fato real de ficção. Sugere-se que os não-cientistas interpretam literalmente as advertências metafóricas. Os escritores devem, portanto, ter a responsabilidade de retratar a ciência bem intencionada sob uma luz negativa. Ao comentar filmes que seguem a tradição de Frankenstein, o renomado geneticista inglês Paul Nurse sugere que “o dilema real surge quando a liberdade do artista de produzir deve ser combinada com o fato de que essas produções são entendidas pelo público como um retrato verdadeiro da ciência”. Sua colega inglesa Ruth McKernan concordou que “a linha entre a fantasia científica como divertimento e o fato científico precisa ser delineada de forma mais clara”.

Esse tipo de declaração simplifica substancialmente as relações entre mídia e público, fato e ficção, e a gama de histórias disponíveis. Histórias “factuais” são sempre emolduradas de forma a, de algum modo, levar a uma determinada interpretação – uma razão para as invocações jornalísticas de *Frankentein* ou de *Admirável mundo novo*. Mas isto não significa que se deva entender literalmente que uma parte da ciência possa ser “como” o projeto Frankenstein ou que “lembre” o *Admirável mundo novo*. Tanto a crítica literária quanto os estudos da mídia exigem que tenhamos uma percepção mais sofisticada do que acontece quando um público diversificado assimila um conjunto complexo de mensagens relacionadas à ciência.

Em particular, estudos contemporâneos sobre a mídia nos permitiram saber que leitores, espectadores ou ouvintes trabalham ativamente para construir interpretações das mensagens da mídia – exatamente como fizeram na época de Mary Shelley. É pouco provável que eles simplesmente assimilem sem uma atitude crítica a mensagem veiculada na reportagem relacionada à ciência, caracterizada por Dorothy Nelkin como “vender ciência”,⁷ assim como não vão

⁷ Nota do editor: O autor está fazendo alusão ao livro de Dorothy Nelkin, *Selling science – How the press covers science and technology*, Nova York: W. H. Freeman and Company, 1987.

sair do filme *Frankenstein* de Kenneth Branagh clamando pelo fechamento de todos os laboratórios. Há sempre diferentes interpretações disponíveis, seja em um texto específico ou em outras partes do domínio da mídia ou ainda no contexto individual de consumo. A negação disso é parte do conflito envolvido na interpretação.

À medida que esse conflito se desenvolve, as histórias de ficção aparentemente desempenham um papel cada vez maior na discussão em torno da clonagem. Esta é, em parte, uma questão de referência popular. Quando os pesquisadores da Wellcome Trust⁸, no Reino Unido, realizaram um estudo qualitativo para saber o que as pessoas achavam da clonagem, em 1998, o clássico de Huxley foi uma das primeiras coisas que vieram à mente, juntamente com *Frankenstein*, *Blade Runner* e *Invasion of the Bodysnatchers*. Além destes, como já afirmei, a idéia de criar seres humanos geneticamente idênticos há muito tempo vem sendo favorita dos romancistas que consideram o futuro biológico. Além da história clássica de Huxley, outros romances da tendência dominante, como *The Boys from Brazil* (na versão em português, *Os meninos do Brasil*), de Ira Levin⁹, e *The Cloning of Joanna May*, de Fay Weldon¹⁰, construíram imagens relacionadas à clonagem. A fantasia de Levin – de que um grupo de fanáticos nazistas poderia tentar clonar Hitler, tomando o cuidado de certificar-se de que tanto o ambiente quanto os genes fossem como os do Führer – faz uma paródia ao projeto de construção de uma raça superior e mexe com um de nossos medos mais profundos relacionados a o quê a biologia pode fazer. O mesmo ocorre – embora de maneira diferente – no conto de Weldon, no qual Joanna descobre que ela foi clonada por seu marido. Muitas dessas histórias, ainda muito agradáveis de serem lidas, viraram filmes: o vigoroso *Jurassic Park* (na versão em português, *Parque dos dinossauros*), com seus dinossauros clonados, de Michael Crichton, e a história de Levin, filmados em Hollywood; a história de Weldon pela britânica BBC. Weldon não se posiciona particularmente contra a clonagem, pelo que se vê nesse conto sombrio. A mensagem do seu romance, repetida diversas vezes, é que a vida é tão horrível que os cientistas não poderiam fazer nada que pudesse piorá-la.

Há uma série de histórias menos conhecidas sobre clonagem escritas por outros autores de ficção científica, como ressaltou José van Dijck¹¹, pesquisadora da Universidade de Maastricht, na Holanda. Os exemplos incluem *Where late the sweet birds sang*, de Kate Wilhelm, e *Cloned*

⁸ WELLCOME TRUST. Public Perceptions of Human Cloning. Wellcome Trust, 1998. www.wellcome.ac.uk/publications

¹⁰ LEVIN, Ira. *The Boys from Brazil*. Várias edições, 1976.

¹¹ WELDON, Fay. *The Cloning of Joanna May*. London: Fontana Books, 1990.

¹¹ VAN DIJCK, José. Cloning Humans, cloning literature: genetics and the imagination deficit. *New Genetics and Society*, v. 18, n. 1, p. 9-22, 1999.

lives, de Pamela Sargent. Van Dijck enfatiza outros autores norte-americanos como Octavia Butler, Nancy Freedman e Amy Thompson, que escreveram histórias em que a clonagem não é necessariamente uma coisa ruim. Ela defende que essas histórias deveriam ser mais amplamente lidas, para ajudar a corrigir o que ela chama de um “déficit de imaginação” na nossa discussão sobre clonagem. Pode-se entender o que Van Dijck quer dizer com isto, quando se observa o grande número de comentários sobre Huxley que são feitos por especialistas em bioética. Além de Leon Kass, o fundamentalista cristão Lane Lester¹² sugere agora que a clonagem significa que o livro *Admirável mundo novo* está “se tornando realidade”. Por outro lado, Gregory Pence¹³, especialista em bioética que defende que não há problemas na clonagem humana, sugere que Huxley foi mal compreendido. *Admirável mundo novo* teria como tema principal o condicionamento comportamental e as drogas. O livro se referiria, essencialmente, às coisas que Huxley considerava ruins na sociedade, associadas à perda da escolha reprodutiva. Permitir a clonagem, afirma Pence, poderia privilegiar a escolha reprodutiva, de modo que Huxley é irrelevante.

Mas há usos mais criativos das histórias de ficção científica do que estes. O *Remaking Eden* do geneticista de Princeton, Lee Silver, por exemplo, começa com uma “espiada nas coisas futuras” que parecem vir direto de um romance da ficção científica – aliás, romance este de baixa qualidade. Segue-se uma explicação popular bastante empolgada sobre as questões científicas e políticas em torno da clonagem e da biologia reprodutiva, incluindo vários cenários construídos em torno de indivíduos fictícios específicos. Há Jennifer e Rachel, por exemplo, uma mãe e seu clone, em 2049, ou Alice, uma criança virtual criada em um computador para ajudar um casal, em alguma data não especificada, a escolher seu genótipo ideal. O livro de Silver¹⁴, que sugere que todos esses desenvolvimentos são inevitáveis, termina com uma história ainda mais grandiosa, em que se imagina a evolução da humanidade em espécies separadas, criadas artificialmente. Ele escreve seguindo os passos dos primeiros autores de ficção científica, como H. G. Wells ou Olaf Stapledon, em *Last and first men*.

Também entusiasmados com as histórias de ficção são Martha Nussbaum e Cass Sunstein,¹⁵ editores da eclética coleção de ensaios *Clones and clones*. Esse livro, editado por um filósofo e um estudioso de leis, inclui uma série de comentários – científicos, filosóficos e éticos – e um capí-

¹² LESTER, Lane & HEFLEY, James. *Human Cloning: playing God or scientific progress?*. Grand Rapids: Fleming Revell, 1998.

¹³ PENCE, Gregory. *Who's afraid of human cloning?* Lanham: Rowman & Littlefield, 1998.

¹⁴ SILVER, Lee. *Remaking Eden: cloning and beyond in a brave new world*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1998.

¹⁵ NUSSBAUM, Martha & SUNSTEIN, Cass. (eds) *Clones and clones: facts and fantasies about human cloning*. Nova York: Norton, 1998.

Jon Turney é jornalista vinculado ao Department of Science and Technology Studies da University College London, Inglaterra.

ucrjhjon@ucl.ac.uk

Versão final do texto em português de Ildeu de Castro Moreira e Luisa Massarani, com base em tradução preliminar de Angela Ramalho Vianna e Helena Londres.

tulo que analisa mitos e histórias sobre clones, gêmeos e duplicações. E termina com uma pequena seção de novas histórias de ficção. Diferentemente do livro de Silver, tais histórias ficam separadas do resto da publicação, mas seu significado é claramente sério: são “histórias para se pensar”. Juntas, todas essas histórias sugerem que a clonagem continuará a aparecer em grande escala no imaginário popular e que as histórias de ficção vão desempenhar um papel importante na formação da imagem que temos sobre as futuras possibilidades tecnológicas, nesse campo assim como em outras áreas.

VOZES DOS CIDADÃOS PARTICIPAÇÃO PÚBLICA NA ÁREA DA BIOTECNOLOGIA

Edna Einsiedel

*C*ada vez mais tem-se dado atenção ao papel dos cidadãos nas sociedades tecnológicas. O fato se deve, em parte, aos dilemas gerados pela própria tecnologia e à forma com que são tratados, sobretudo no que se refere aos usos apropriados das conquistas na área e à avaliação de seus impactos. No âmbito da biotecnologia, em particular, a participação pública torna-se fundamental, já que diz respeito a uma das tecnologias estratégicas para este século, devido à capacidade de penetração que a caracteriza, como demonstram suas aplicações nas indústrias primárias (agricultura, manejo de florestas, mineração), secundárias (produtos químicos, medicamentos, alimentos) e terciárias (saúde, educação, pesquisa). Daí a importância de examinar a trajetória cambiante da participação pública no contexto de algumas aplicações de biotecnologias e de discutir as implicações dessas tendências, no sentido de tornar as tecnologias mais democráticas.

Introdução

As questões que surgem nos estágios de concepção de novas tecnologias, incluindo-se aí as discussões sobre determinadas aplicações, se elas devem ou não ser colocadas em prática, podem ser consideradas como reflexo de um paradoxo: aqueles que possuem tecnologia estão cada vez mais insatisfeitos, enquanto os que não a possuem desejam obtê-la. Nesse contexto, podemos falar de um “déficit de tecnologia” em dois aspectos: o primeiro se refere a um déficit de desempenho. Ou seja, várias tecnologias raramente correspondem ao otimismo que havia quando surgiram. São abundantes os exemplos de tecnologias cujas expectativas falharam.¹ Muitas delas envolvem riscos muito altos ou trazem menos benefícios do que se esperava; algumas produzem conseqüências inesperadas, às vezes negativas. Para outras, esse déficit provocou estigma de longa duração. Um exemplo é a reação pública diante das tecnologias nucleares. O segundo déficit em relação à tecnologia refere-se a um déficit de democracia. Os problemas de como ocorre o processo de tomada de decisões tecnológicas e como as diversas tecnologias são administradas ilustram essa deficiência. Pelo menos da maneira como foi colocada em prática durante quase todo o século 20, a tecnologia convergiu para o estabelecimento de uma comunidade de elite: a dos possuidores da *expertise*, que gerou uma política de exclusão, por definição. Os excluídos foram essencialmente os cidadãos leigos. Mais recentemente, o cenário vem mudando. Há um crescimento notável de mecanismos destinados a envolver ativamente o público, tendo como pano de fundo o ceticismo em relação ao desempenho tecnológico, aí incluídos a base especializada em que esse desempenho se escora e a falta de confiança nas instituições responsáveis pela regulamentação das tecnologias.

Isso é especialmente evidente na evolução contínua da biotecnologia, uma das tecnologias estratégicas do final do século 20 e do século 21, cujas aplicações já mostraram capacidade de penetração, em contraste com outras tecnologias de foco mais restrito, como a energia nuclear. Sua aplicação nas indústrias primárias já está ocorrendo, incluindo setores tais como agricultura, manejo de florestas e mineração. Nas indústrias secundárias, ela tem sido útil na fabricação de produtos químicos, medicamentos e alimentos. Nas indústrias terciárias, seu impacto deverá ser enorme em áreas como saúde, educação e pesquisa.

¹ BRODY, H. Great Expectations: why technology predictions go awry, *Technology Review*, 12, july, 1991.

Mudança nas concepções de participação pública

Há uma longa história de participação pública em torno de questões tecnológicas. Neste caso, nós nos referimos à participação em termos muito amplos, de forma a incluir a votação em referendos, a avaliação da opinião pública por meio de enquetes e grupos de debate (*focus groups*), a representação do cidadão em comitês consultivos ou de planejamento e até a participação em atividades de protesto.

Nas duas últimas décadas, temos observado um interesse crescente no uso de modelos deliberativos para a participação pública. Tais modelos incluem conferências de consenso, júris do cidadão, workshops para a construção de cenários ou votações deliberativas.² Esses modelos diferem em seus formatos, mas têm vários elementos comuns: a participação de cidadãos leigos ao se considerar uma questão tecnológica ou social; um processo de aprendizado aprofundado e uma avaliação do que se deve saber sobre uma determinada questão; uma consideração dos diferentes pontos de vista e dos valores subjacentes a essas visões; uma avaliação do que se deve saber e do que é desconhecido ou que envolve incerteza no conteúdo científico subjacente; a deliberação por parte dos cidadãos que estão participando, com o envolvimento de representantes dos diferentes pontos de vista e a tomada de posições e recomendações.

A conferência de consenso é um bom exemplo de modelo deliberativo.³ Trata-se de um dos modelos mais frequentemente usados, tendo sido empregado pelo menos uma vez em uma dezena de países. De forma breve, a abordagem envolve uma participação intensa e ativa de 15 a 20 cidadãos leigos. Essa participação abrange um processo de aprendizagem sobre o tema em questão, a discussão com um número similar de especialistas, deliberações por parte dos cidadãos leigos e a produção de um documento sobre o tema em questão destinado a um organismo político, à mídia e a outros cidadãos.

Os participantes leigos podem ser escolhidos entre as pessoas que responderam uma carta-convite enviada a um conjunto de cidadãos selecionados aleatoriamente. Uma amostra auto-selecionada de pessoas, que responderam a anúncios na mídia, pode também ser usada. Em ambos os casos, o grupo final de participantes é escolhido com base em um conjunto de critérios pré-determinados (tais como idade, gênero, educação e ocupação, idioma), estruturado de forma a permitir a formação de um grupo bem balanceado, que pode ser considerado um recorte razoável da comunidade maior (país ou região).

² Para uma discussão mais detalhada sobre esses modelos, ver:

JOSS, S. & DURANT, J. *Public Participation in Science: the role of consensus conference in Europe*. Londres: Science Museum, 1996.

FISHKIN, J. *The Voice of the People: public opinion and democracy*. New Haven: Yale University Press, 1995.

SMITH, G. & WALES, C. *The Theory and Practise of Citizens' Juries*. *Policy and politics*, 27: 3, 295-308, 1999.

RENN, O.; WEBLER, T.; RAKEL, H.; DIENEL, P. & JOHNSON, B. *Public Participation Indecision-making: a three step procedure*. *Policy Sciences*, 26: 189-214, 1993.

³ Ver EINSIEDEL, E. & EASTLICK, D. *Consensus Conference as Deliberative Democracy*. *Science Communication*, 21:4, 323-343, 2000.

MAYER, I. & GEURTS, J. *Consensus Conferences as Participatory Policy Analysis: a methodological contribution to the social management of technology*. In: WHEALE, P.; VON SCHOMBURG, R. & GLASNER, P. (eds.), *The Social Management of Genetic Engineering*. Hampshire: Ashgate, 1999.

JOSS, S. & DURANT, J. *Op. cit.*

Tipicamente, o processo abrange um período de três meses, sem incluir as fases de planejamento e avaliação após a conferência e o período de montagem do grupo. Inicialmente, o grupo de cidadãos recebe um conjunto de textos para leitura, cobrindo os temas principais. O grupo, então, encontra-se com os organizadores durante um final de semana, quando são feitas as apresentações e todo o processo é discutido. Nesse primeiro encontro, os cidadãos leigos têm também sua primeira oportunidade para delinear o que eles consideram como assuntos centrais e principais tópicos que necessitam ser discutidos, para ajudar a identificar o tipo de especialistas que estão interessados em ouvir, e para examinar outras questões do processo.

O segundo final de semana preparatório ocorre cerca de quatro semanas após o primeiro encontro. Durante esse intervalo de tempo, os integrantes do grupo podem discutir com um conjunto inicial de especialistas. Outras deliberações irão também ajudar a refinar o elenco de questões principais que eles desejam abordar. O encontro no terceiro e último fim-de-semana é uma conferência pública para a qual a mídia, o público em geral e pessoas responsáveis por formular políticas são convidados a participar. Nesse encontro os especialistas falam sobre uma ou várias das principais questões e o grupo de cidadãos leigos e os membros da audiência fazem suas perguntas. Os membros do grupo redigem, então, em conjunto, um documento que é apresentado à mídia e ao público no último dia da conferência.

Tipicamente, a conferência de consenso pode ser adequada para questões: (1) que são de interesse atual e futuro; (2) que são controversas; (3) que são complexas e podem necessitar um esclarecimento por parte de especialistas e (4) que exibem interesses múltiplos e às vezes conflitantes.⁴ Não é surpreendente que este tenha sido o modelo deliberativo escolhido para a questão dos alimentos geneticamente modificados em muitos países (ver quadro 1).

Os objetivos das conferências de consenso têm sido diversos. Elas podem visar algo nebuloso tal como “fazer a ponte entre ciência e tecnologia e vida pública”.⁵ Se contribuem para a compreensão pública da ciência, justificam a construção de tal ponte. Elas podem também estimular o debate público ou influenciar as agendas públicas. Finalmente, podem ter um objetivo muito específico, tal como o de orientar ou dar subsídios para decisões políticas. Têm também a função de apresentar e esclarecer alternativas políticas, gerenciar conflitos na sociedade ou avaliar processos e orientações políticas.⁶

⁴ MAYER, I & GEURTS, J. *Op. cit.*

⁵ BÜTSCHI, D. & NETWICH, M. The Role of the Participatory Technology Assessment in the Political System: Preliminary Results from the EUROPTA Project. Trabalho apresentado no segundo encontro do EUROPTA, Haia, 4-5 de outubro 1999.

⁶ BÜTSCHI, D. & NETWICH, M. *Op. cit.*

Quadro 1: Conferências de Consenso sobre Biotecnologia

País	Ano	Tema
Dinamarca	1999	Alimentos transgênicos
	1998	Política alimentar do cidadão
	1995	Terapia gênica
	1992	Animais transgênicos
	1989	Mapeamento do genoma humano
	1987	Tecnologia genética na indústria e na agricultura
Austrália	1999	Tecnologia genética na cadeia alimentar
Canadá	2001	Xenotransplante
	1999	Alimentos transgênicos
França	1998	Alimentos transgênicos
Alemanha	1994	Plantações transgênicas
Japão	2000	Alimentos transgênicos
	1998	Terapia gênica
Holanda	2001	Xenotransplante
	1995	Pesquisa genética humana
	1993	Animais geneticamente modificados
Nova Zelândia	1999	Biotecnologia de plantas
	1996	Biotecnologia de plantas
Noruega	2000	Alimentos transgênicos
	1996	Alimentos transgênicos
Coréia do Sul	1999	Clonagem
	1998	Alimentos transgênicos
Suíça	2000	Medicina de transplante
	1999	Alimentos transgênicos
Reino Unido	1994	Biotecnologia de plantas
EUA	2001	Alimentos transgênicos

Nós realizamos uma análise mais detalhada das conferências de consenso ocorridas na Dinamarca, no Canadá e na Austrália sobre a biotecnologia de alimentos.⁷ Entre as categorias de questões levantadas pelos três grupos de cidadãos estavam incluídas:

⁷ EINSIEDEL, E. F.; JELSØE, E. & BRECK, T. Publics at the Technology Table: the consensus conference in Denmark, Canada and Australia. *Public Understanding of Science*, 10: 1-6, 2001.

1. Quais são os riscos dos alimentos geneticamente modificados para a saúde (em comparação ao alimento convencional)?
2. Quais são os impactos ambientais de plantações geneticamente modificadas?
3. Quem controla essa tecnologia?
4. Quais são as conseqüências econômicas de adotar essa tecnologia?
5. Quais são as questões éticas implicadas e como devem ser abordadas?
6. Quais são as questões relacionadas ao comércio internacional que precisam ser consideradas?

7. Como as informações sobre os alimentos geneticamente modificados podem ser disseminadas de maneira eficaz?
8. Quais são as alternativas para essa tecnologia?
9. Como o público pode participar das decisões de forma mais completa?

As questões sobre os impactos na saúde e na segurança não são surpreendentes como ponto de partida. No entanto, outras questões demonstram interesse não apenas nos riscos e nos benefícios para o indivíduo e para a sociedade como um todo: surgiram indagações sobre quem são as pessoas atingidas por esses riscos, quem se beneficia e se tais riscos e benefícios são distribuídos equitativamente. Foram comuns as preocupações sobre os impactos ambientais e a sustentabilidade. Ainda que o interesse nacional possa estar subjacente aos assuntos relacionados ao comércio internacional em termos da competitividade do país em uma economia global, foi expressa uma ansiedade em relação à possibilidade das opções nacionais serem limitadas por preocupações globais. Essencialmente, a exploração de alternativas tecnológicas não se restringiu à diversificação das opções; também se questionou se uma senda tecnológica específica é necessariamente a melhor escolha. Essas categorias de questões demonstram claramente a existência de uma gama ampla de valores que os cidadãos leigos relacionam com temas tecnológicos. Embora as questões de segurança sejam importantes, surgem balanceadas por considerações que levam em conta os impactos na vida dos animais, no meio ambiente e nos países do Terceiro Mundo. O problema do controle é proeminente, com preocupações relativas aos impactos sobre agricultores, ao papel dominante das grandes companhias internacionais e aos limites do poder do estado nacional impostos pela globalização. Como observado recentemente na revista *Nature Biotechnology*, “embora o conflito ocorra em torno da segurança e dos riscos, na realidade, a maioria das questões centrais refere-se a controle e poder político – quem irá decidir sobre como usar essas tecnologias e com que direito se terá autoridade de fazê-lo?”⁸ Discussões sobre a rotulagem colocam em destaque temas como as questões do direito de informação e de escolha. Outras preocupações éticas giram em torno da equidade (quem se beneficia e quem fica sujeito aos riscos) ou da preservação dos limites culturais.

Ao considerar os alimentos geneticamente modificados na Noruega, por exemplo, o grupo de cidadãos perguntou: Qual o impacto que a modificação genética da comida terá na

⁸ *Nature Biotechnology*. Editorial, 18: janeiro de 2000, p. 1.

⁹ NATIONAL COMMITTEE ON RESEARCH ETHICS. *Fast Salmon and Technoburgers: report from the consensus conference on genetically modified food*. Oslo: Norwegian Biotechnology Advisory Board, 1997.

¹⁰ UK. National Consensus Conference on Plant Biotechnology. Documento final. Londres: Science Museum, 1994.

¹¹ OPECST. Parliamentary Office for Evaluation of Scientific and Technological Options. Citizen Panel Report on The Use of Genetically Modified Organisms in Agriculture and Food. Paris, 1999 (Tradução).

¹² JOSS, S. & TORGERSEN, H., Introduction of participatory Technology Assessment. Trabalho apresentado no Participatory Technology Assessment Workshop, Haia, 4-5 de outubro, 2000.

¹³ JOSS, S. & TORGERSEN, H. *Op. cit.*

política de distribuição global? Como serão levados em conta ou definidos os conceitos do que é “socialmente justificável” e “desenvolvimento sustentável”?⁹ Ao considerar a questão de como garantir que a biotecnologia de plantas beneficie os países em desenvolvimento, os cidadãos que compuseram o júri no Reino Unido defenderam um maior financiamento para as pesquisas voltadas para as necessidades desses países e o compartilhamento de conhecimento entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.¹⁰ Os júris na França expressaram preocupação sobre os mecanismos para resolver conflitos políticos nessa arena. Eles perguntaram: “Dada a complexidade dos interesses envolvidos, como se vai lidar com os inevitáveis conflitos de poder entre os diversos atores econômicos e políticos?”¹¹ Evidentemente, a implementação e os resultados dessas conferências de consenso não são sempre similares, como seria de se esperar considerando os diferentes contextos políticos e culturais em que elas foram realizadas.¹² Um exame mais detalhado que realizamos das conferências de consenso sobre alimentos geneticamente modificados na Austrália, no Canadá e na Dinamarca mostrou que, embora apresentassem similaridades na implementação geral e, como discutido anteriormente, nas áreas de preocupação, também havia algumas diferenças. Por exemplo, as preocupações sobre os “impactos na natureza” apareceram entre os grupos de dinamarqueses e australianos, mas não entre os canadenses. Os australianos e os canadenses, talvez como reflexo do fato de que seus países são mais fortes no mercado internacional, identificaram essa área como importante de ser levada em consideração; o mesmo não ocorreu entre os dinamarqueses. De maneira geral, no entanto, as similaridades foram notáveis.

O discurso do público, tal como surgiu em vários documentos escritos por grupos de cidadãos, contrasta com a mensagem dominante em alguns países de que os alimentos geneticamente modificados são inequivocamente seguros e benignos para o meio ambiente, que trazem muitos benefícios e que seriam administrados de maneira eficiente de modo que o público teria pouco a se preocupar. Tal mensagem, nesses procedimentos públicos de discussão, foi considerada inadequada, senão falsa.

Não dizemos que estamos confiantes na eficácia das conferências de consenso em particular ou nos modelos deliberativos de maneira geral. Quando avaliados dentro dos padrões restritos da influência que exercem nas decisões políticas, seus impactos são limitados.¹³ No entanto, de maneira mais ampla, as avaliações de sua eficácia mostram que esses modelos ajudam a tornar mais claros os interesses e as preo-

¹⁴ JOSS, S. & TORGERSEN, H. *Op. cit.*

¹⁵ BUD, R. *The Uses of Life: a history of biotechnology.* Cambridge: CUP, 1993.

¹⁶ UNDP. United Nations Development Program. *Human development report.* New York: Oxford University Press, 1999.

cupações, melhoram o clima entre os principais atores e fornecem uma arena nova para buscar soluções além das fronteiras do processo político tradicional.¹⁴ Por que a biotecnologia se prestou bem para o uso de modelos deliberativos? Vários fatores podem ter sido responsáveis por isto. O primeiro está relacionado com a própria tecnologia. Enquanto as tecnologias anteriores têm sido vistas como “sujando a natureza”, a biotecnologia tem sido vista como capaz de controlar a própria vida. Associado a isto, ela vem despertando uma reflexão introspectiva mais profunda que qualquer outra tecnologia.¹⁵ Essas reflexões mais profundas sobre o “eu”, a natureza, as nossas origens e o divino têm subvertido a pesquisa, a ciência, as crenças estabelecidas e as afirmações de autoridade. Algumas dessas atividades subversivas surgem de públicos anteriormente subservientes aos objetivos da ciência. Então, nada melhor do que incorporar ao debate sobre o tema essas pessoas que têm um número de questões cada vez maior, apresentam um grau de desconfiança crescente ou que possuem mesmo uma sensação de exclusão.

O avanço da tecnologia, embora promettesse vários benefícios, também expôs uma centralização do controle e da autoridade ao dar visibilidade às grandes corporações internacionais as quais desempenham papel dos mais importantes no desenvolvimento inicial de plantações geneticamente modificadas. De maneira similar, esse problema se reflete na pressa de se tentar patentear produtos e processos agrícolas e medicinais, suscitando questões sobre como a tecnologia é controlada. Por exemplo, nove a cada dez patentes relacionadas à transferência de genes estão sob o controle de apenas cinco empresas de biotecnologia.¹⁶

A biotecnologia também se desenvolveu no momento em que o número de adoradores na catedral da ciência vem diminuindo consideravelmente. Nesses tempos de agnosticismo, a ciência se tornou um produto difícil de se vender. Ao mesmo tempo, os governos que financiaram programas nacionais de inovação na área da biotecnologia foram singulares em seu esforço de consolidar essas tecnologias, adotando com freqüência uma abordagem que dificilmente é aceita por um público cético ou até mesmo desconfiado. Além do maior ceticismo, as pessoas também têm demonstrado que estão mais bem informadas ao terem de lidar com instituições e práticas que apresentam impacto direto em suas vidas. Isto ficou bastante evidente nos domínios da saúde e do meio ambiente. Em muitas sociedades pós-industriais, considerações sobre a qualidade de vida, a equidade e a justiça social passaram a ter importância. A confluência tanto de fatores específicos a pró-

pria tecnologia e de seu contexto sociocultural, que está em transformação contínua, ajuda a explicar a implementação crescente de modelos deliberativos para examinar a biotecnologia.

Essa discussão sobre a participação pública no contexto da biotecnologia é também um reflexo de discussões mais amplas sobre o papel do público no processo de tomada de decisões e na avaliação da tecnologia em geral. Ela também afeta as concepções sobre as relações da sociedade para com a ciência, que estão sofrendo transformações, e traz à baila temas que precisam ser repensados e redefinidos. Vamos discutir aqui, brevemente, quatro dessas áreas.

Expertise

São numerosos os quadros de experts que surgiram em torno de várias tecnologias. Algumas pessoas afirmam que o papel dessa tecnocracia não é de todo regido por especialistas mas trata-se, sim, de um escudo de proteção construído pelas elites políticas contra a pressão do público.¹⁷ Além disso, um público incapaz de contribuir para as decisões técnicas precisaria contar com os especialistas para proteger seus interesses. O crescimento do número de especialistas vem levando ao que alguns têm chamado “democracia tecnologizada”. Em vez de se falar em legislação acerca da tecnologia, temos visto a legislação emanada da tecnologia.¹⁸ Os experts têm tido papel central no cenário tecnológico já há muitos anos. No entanto, embora seu papel ainda seja dominante, a crença pública na *expertise* tem diminuído significativamente. Ficou evidente que os especialistas podem falhar e nem sempre são isentos de interesses. Conforme Jasanoff enfaticamente afirmou, “a visão ingênua de que consultores neutros estariam ‘falando a verdade para o poder’ deve ser abandonada”.¹⁹

Além de estar sendo questionada a crença de que essencialmente a *expertise* só seria encontrada na comunidade científica, as fronteiras entre conhecimento de especialistas e de não-especialistas têm ficado cada vez mais tênues. Pode-se afirmar que há mais fluidez entre conhecimento de especialistas e de leigos em alguns casos. O especialista detém um conhecimento que é especializado e restrito, de modo que ele pode ser uma pessoa leiga em outras esferas. O cidadão leigo pode, em alguns contextos, ter a *expertise* da experiência. O agricultor que escolhe cultivar plantações transgênicas e decide após várias estações voltar para as plantações convencionais ou vice-versa possui esse tipo de *expertise* de conhecimento e de experiência acumulados. O cidadão que está submetido aos efeitos da poluição do ar, que paga impostos que são usados para subsidiar determina-

¹⁷ FISCHER, F. *Technocracy and the Politics of Expertise*. Newbury Park: Sage, 1990.

¹⁸ WINNER, L. *The Whale and the Reactor*. Chicago: University of Chicago Press, 1986.

¹⁹ JASANOFF, S. *The Fifth Branch: science and advisers as policymakers*. Cambridge: HUP, 1990.

das indústrias de energia ou para financiar determinadas áreas de pesquisa estratégicas tem a *expertise* mais ampla dos valores sociais que precisam ser considerados quando são levantadas as questões relacionadas à tecnologia. A necessidade de redefinir *expertise* foi explicitamente reconhecida por formuladores de políticas europeus ao conceberem o *White Paper on European Governance*.²⁰ Nesse documento político, afirma-se que as fontes de *expertise* e seu funcionamento podem ser encontrados em locais diferentes e em formatos distintos que não se restringem ao conhecimento científico. Tal definição mais ampla de *expertise*, quando conta com condições de transparência, responsabilidade, independência e pluralidade, pode tornar-se uma base mais sólida para um governo democrático.²¹ Tal abordagem permite incluir o estabelecimento de instituições e práticas que fazem a ponte entre a formulação de políticas e o público, pressupondo o uso de modelos deliberativos.

Incerteza

Um público que é submetido a discursos sobre certezas muito possivelmente terá desilusões. A experiência do público com a tecnologia tem enfatizado as incertezas que estão subjacentes a muitas tecnologias. Nos anos iniciais do gerenciamento da tecnologia, prever o futuro tecnológico foi um elemento-chave. Em sua análise de avaliações de riscos das tecnologias da energia, Stirling²² descobriu que, embora estudos individuais forneçam projeções de riscos com grande precisão, há grande variação nesses projetos quando considerados como um todo. Aparentemente isso também ocorre em outras áreas de riscos tecnológicos, desde avaliações sobre substâncias químicas tóxicas até plantações geneticamente modificadas. Isto ilustra que as coisas que acreditamos ser precisas freqüentemente ocorrem ao longo de um processo contínuo cujas fronteiras podem ser desconhecidas. A incerteza pode também incluir coisas que podemos identificar, mas sobre as quais temos pouco ou nenhum conhecimento. Por exemplo, podemos fazer perguntas sobre os impactos ambientais de longa duração de plantações geneticamente modificadas, mas temos pouco ou nenhum conhecimento sobre isto, visto que ainda não se realizou tal tipo de avaliação. Além das incertezas que surgem a partir do que não se pode conhecer, identificar ou medir, há também incertezas que podem surgir a partir da interação entre valores e conhecimento. Ao articular uma dimensão moral para os riscos da clonagem humana, uma sociedade está estabelecendo limites para riscos que são incertos em

²⁰ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. White Paper on European Governance – Enhancing Democracy in the European Union, SEC, 2000; 1547/7, documento final, outubro.

²¹ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. *Op. cit.*

²² STIRLING, A. *Science and Precaution in the Management of Technological Risk*. Sevilha: Institute for Prospective Technology Studies, maio, 1999.

termos de tangibilidade ou capacidade de serem medidos, mas que podem ser melhor definidos como um valor social.

Nos modelos deliberativos, os cidadãos participantes se confrontam com as incertezas da ciência de ponta e levam isto em conta quando tomam suas decisões. Por exemplo, ao examinarem a continuidade ou não da realização de testes clínicos para xenotransplante, alguns participantes leigos no Canadá afirmaram enfaticamente que os riscos de transferência de vírus de animais para humanos era muito grande e que não se sabia o suficiente para justificar ir em frente. Para eles, os testes deveriam ser interrompidos até que fossem feitas mais pesquisas sobre o tema.²³

²³ EINSIEDEL, E. *Animal Organs for Humans? Citizen juries and xenotransplantation in Canada*. Artigo submetido.

O ato de governar

O ato de governar inclui a estrutura filosófica e o conjunto de esforços utilizados pelas comunidades para direcionar, moldar, controlar ou regular, bem como promover certos tipos de atividades. Embora executado essencialmente pelos estados, pode também ser realizado por organizações da sociedade civil ou do setor privado ou por esses grupos e o estado. Essas atividades podem incluir o estabelecimento de padrões para moldar e implementar regulamentações.

A questão da participação pública e da ação de governar depende da gama de vozes ouvidas no estabelecimento e na manutenção das bases para decisões e regulamentações. Também está relacionada à questão das estruturas políticas que promovem ou melhoram, em contraposição àquelas que desencorajam, a participação popular nessas atividades. Tais mecanismos podem incluir a exigência de processos de participação pública. Por exemplo, o *Equal Opportunity Act* de 1964, nos Estados Unidos, que estabeleceu programas de ação comunitária, exigiu que pessoas de baixa renda e em situação de desvantagem tenham oportunidades de participação ampliadas ao máximo. A legislação daquele país referente ao acesso à informação possibilita que informações burocráticas estejam mais facilmente acessíveis ao público. Também estão previstas sanções quando tais ordens não são cumpridas.

No caso de tecnologias importantes como a tecnologia da informação e a biotecnologia, ou no caso de atividades voltadas para estabelecer padrões em setores afetados pelo mercado internacional (como no caso da agricultura), as funções de governo são tanto internacionais como domésticas. Algumas pessoas afirmam até mesmo que as instituições internacionais têm reduzido muito os graus de liberdade que os estados nacionais têm para operar. Mesmo

em nível internacional, a questão da participação é altamente relevante. Neste caso, o papel da Internet como instrumento para facilitar tais modos de participação pode se tornar importante. Organizações internacionais como a Organização Mundial da Saúde têm utilizado um formulário *on line* de participação para discutir a questão do xenotransplante. Grupos com interesses específicos que incluem desde saúde e ambiente até direitos humanos têm também usado ferramentas de comunicação *on line* para facilitar as discussões entre seus usuários ou membros. A tecnologia também tem sido fundamental para os esforços de mobilização. Exemplo disto é o uso da Internet para se obter um acordo multilateral na área de investimentos. Entre os júris de cidadãos, o apelo para maior participação pública tem sido enfático.²⁴ Tais apelos estão sendo feitos, em parte, como uma resposta à frustração com as maneiras usuais de tomada de decisão, nem sempre adequadas e democráticas.

²⁴ EINSIEDEL, E. F.; JELSØE, E. & BRECK, T. *Op. cit.*

Legitimidade

Todos os fatores anteriormente abordados apresentam impacto sobre as imagens de legitimidade. A legitimidade se refere à capacidade de aceitação e de credibilidade das instituições e suas decisões. Baseia-se em elementos tais como receptividade democrática, transparência e responsabilidade.

A legitimidade também pressupõe a responsabilidade compartilhada. Em alguns casos, a participação dos cidadãos pode fazer com que eles assumam parte da responsabilidade sobre a implementação e os resultados. Por exemplo, quando as agências governamentais e os habitantes do local trabalham juntos desde o início para definir os problemas e conceber os planos, os moradores freqüentemente participam da sua implementação, aumentando as chances de se obterem resultados positivos.

A legitimidade pode ser facilmente construída em termos da necessidade estratégica de obter aceitação pública. Esta é apenas uma pequena parte do cenário. No final das contas, a participação pública pode ser vista como essencial para se tomar a decisão certa, se isto significar decisões que tenham uma base ampla de informação e apoio, que obtenham reconhecimento, que incorporem o conjunto de valores sociais da comunidade e que sejam produzidas sob condições de transparência e responsabilidade.

As contribuições dos modelos deliberativos para a legitimidade podem ser significativas se forem feitas nos tempos certos e se os procedimentos demonstrarem transpa-

²⁵ ROWE, G. & FREWER, L. Public Participation Methods: A framework for evaluation. *Science, Technology and Human Values*, 25: 1, 3-29, 2000.

²⁶ LUHMAN, N. *Social Systems*. Stanford: Stanford University Press, 1995.

rência e responsabilidade.²⁵ No nível da sociedade, tais mecanismos podem ser vistos como instrumentos para melhorar a sensibilidade de sistemas políticos assim como a sua capacidade de adaptação.²⁶

Conclusão

Os temas públicos em torno da biotecnologia traduzem questões maiores existentes dentro dos domínios que discutimos. O desenvolvimento da nova genética em vários setores, desde os alimentos que comemos até a forma como lidamos com o meio ambiente e as maneiras pelas quais entendemos, mantemos e controlamos nossa saúde, está ocorrendo no contexto de uma crise de legitimação da tecnologia e dos processos de tomada de decisões políticas. Além de ser uma resposta a tal crise, defendemos que a participação pública pode ser um meio de obter soluções tecnológicas “melhores” por causa da possibilidade de incorporar valores sociais nas escolhas da sociedade. Stirling mantém esse ponto de vista também quando defende uma inclusão maior (isto é, uma participação pública maior) na avaliação de riscos: “Ao reconhecer que os problemas de escopo, de incomensurabilidade e ignorância na avaliação de riscos não podem ser tratados de outra maneira, o envolvimento dos atores fundamentais no processo se torna uma questão de rigor analítico”.²⁷ A não ser que tais valores e referências sociais sejam levados em conta, ele argumenta que a avaliação tecnológica será de difícil validação.

²⁷ STIRLING, A. *Op. cit.*, p. 56.

Evidentemente, reconhecemos que também há críticas à idéia de estimular o envolvimento do cidadão. Há o argumento de que cidadãos comuns não têm capacidade ou não dispõem de ferramentas para entender e usar resultados científicos de forma a poder chegar a recomendações racionais.²⁸ Nesse sentido, surge um argumento correspondente de que é pouco provável que as pessoas responsáveis pelas decisões políticas venham a levar em conta o conselho de não-especialistas. O primeiro ponto tem-se mostrado inválido em numerosas ocasiões. A Comissão Européia, por exemplo, concluiu que tais exercícios de envolvimento público “ilustram que membros comuns do público, uma vez que têm em mãos as informações, podem ter um diálogo de alta qualidade com os especialistas, colocar questões sensatas a esses especialistas, fazer julgamentos bem equilibrados e chegar a um consenso razoável.”²⁹ O segundo ponto pode ocorrer com alguns atores políticos ou que tomam decisões, mas isto também está mudando. Muitas dessas pessoas reconhecem que a competência moral para fazer julgamen-

²⁸ HAMMOND, K.; MUMPOWER, J.; DENNIS, R.; FITCH, S. & CRUMPACKER, W. Fundamental Obstacles to the Use of Scientific Information in Public Policy-making. *Technological Forecasting and Social Change*, 24: 287-293, 1983.

²⁹ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, *Op. cit.*

³⁰ DAHL, R. *Controlling Nuclear Weapons*. Syracuse: University Press, 1985.

³¹ DAHL, R. *Op. cit.* p. 51.

³² STIRLING, A. *Op. cit.*

³³ WINNER, L. *Op. cit.*

Edna Einsiedel é bacharel em Zoologia, PhD em Comunicações, professora de Estudos da Comunicação e coordenadora do Development Studies Program da University of Calgary, Canadá.

einsiede@ucalgary.ca

Artigo originalmente publicado em *Notizie di Politeia – Rivista di Etica e Scelte Pubbliche*, ano XVII, n. 63, 2001. Reproduzido com autorização da autora e da revista, que mantêm os direitos sobre a obra.

Artigo traduzido por Luisa Massarani. Revisão técnica de Ildeu de Castro Moreira.

tos sobre questões tecnológicas não reside necessariamente nos especialistas.³⁰ E mesmo se as pessoas leigas cometam erros, o risco de tal fato ocorrer pode existir também entre os líderes, sejam eles eleitos ou não. E o mais importante é que os erros podem ser vistos como uma oportunidade para aprender. “Em sua melhor característica, apenas a visão democrática pode oferecer a esperança – que a tutela nunca pode dar – de que, pelo envolvimento no ato de governar a si mesmo, todo o povo, e não meramente alguns poucos, pode aprender a agir como seres humanos responsáveis”.³¹

Essa noção de aprendizado individual é complementada, no nível de governo da sociedade, com a noção de que a forma de governar evolui, não se mantém estática, e de que as pessoas responsáveis pela formulação de políticas podem implantar um processo de aprendizado social no gerenciamento da tecnologia.³²

Por fim, a participação pública é uma expressão de cultura política. Se a cultura valoriza formas mais democráticas de governo, então isto impõe a existência de mecanismos que estimulem um discurso que cruze as fronteiras da diferença.

As aplicações da biotecnologia fornecem fóruns em que se pode refletir sobre questões relacionadas à ciência na sociedade, tecnologia e democracia. Essas aplicações também demonstram que é imperativa a idéia de participação pública nos estágios iniciais de se conceber um design tecnológico – especialmente para tecnologias complexas e de grande escala como a biotecnologia. As reflexões de Langdon Winner sobre o porquê de embarcarmos nesse processo são valiosas:

*Deveríamos tentar imaginar e construir regimes técnicos compatíveis com a liberdade, a justiça social e outras finalidades políticas importantes. Na medida que as possibilidades presentes em uma determinada tecnologia permitam, o processo deveria ser concebido tanto em seus componentes técnicos como sociais, de acordo com uma idéia amplamente compartilhada e deliberadamente articulada de uma sociedade digna de nosso cuidado e respeito (...) Ao se depararem com a proposta de uma nova tecnologia, os cidadãos ou seus representantes avaliariam o contrato social envolvido na construção do sistema naquela forma particular. Eles perguntariam: As condições propostas são adequadas para o que somos e o que desejamos que essa sociedade seja?*³³

Nossas experiências até agora limitadas, relacionadas com o papel do público em questões de biotecnologia, constituem um passo modesto no sentido de se conseguir desenvolver coletivamente essas visões sobre a tecnologia no meio social.

O DOMÍNIO PÚBLICO DO DNA TENDÊNCIAS A LONGO PRAZO

Martin W. Bauer

Uma análise quantitativa da comunicação de massa na Inglaterra mostra que as variações da opinião pública a respeito do DNA e da biotecnologia acompanham duas fases de longa duração: de 1946 a 1972 e de 1973 até o presente. Cada fase revela um ciclo de entusiasmo e ceticismo com respeito à evolução das pesquisas científicas e sua aplicação. O exame desses dois longos períodos permite reconhecer eventos e tópicos que alimentaram as diferentes percepções e controvérsias sobre o assunto, bem como as atuais polêmicas nas áreas da produção de alimentos agrícolas, da biomedicina e da legislação.

O DNA na imprensa: a opinião pública no passado e no presente

Pesquisas de opinião e estudos sobre atitudes do público em relação ao DNA ou à engenharia genética só foram aparecer recentemente em épocas de controvérsias. Dados coletados a longo prazo e de forma contínua sobre a opinião e o sentimento públicos são em geral difíceis de serem obtidos. As ciências sociais possuem poucas – se é que as tem – “estações meteorológicas” capazes de oferecer leituras sobre o padrão de sentimentos do público semelhantes às leituras de temperatura, de umidade e de velocidade do vento nas mais diferentes localidades. A regra geral é a de que sem controvérsias não há opinião pública. Para um estudo de longo prazo sobre os sentimentos públicos em relação ao DNA ou à genética, podemos superar essa desvantagem empírica recorrendo a dados indiretos como, por exemplo, à análise da cobertura jornalística. Sendo assim, analisamos a trajetória da genética na imprensa britânica entre 1946 e 1999 com base em dois estudos de discurso público sobre ciência e tecnologia (ver quadro 1).

A comunicação de massa tem sua análise dificultada pela dupla natureza que a caracteriza: é ao mesmo tempo instrumento de influência social e espelho da opinião pública. Aquilo que lemos como notícia diária já se define tradicionalmente como opinião pública, embora seja também produção e consumo dessa opinião. Portanto, a análise dos meios de comunicação fornece duas contribuições. Primeiro, mostra por uma espécie de procuração, o que muitos podem considerar como opinião pública em determinada época. Políticos, empresários, administradores e cientistas lêem jornais e assim se defrontam com a opinião pública. A análise dos meios de comunicação indica deste modo “a opinião pública como percebida”, ao passo que leitores individualmente podem ignorar essa indicação, concordar com ela ou então discordar. Em segundo lugar, a comunicação de massa veicula amplamente imagens e argumentos e insinua ao leitor o que pensar. Para os atores públicos desse processo, preocupados em manter sua agenda atualizada, tais imagens e argumentos se constituem em instrumentos de persuasão. A longo prazo, graças à repetição, a cobertura jornalística também acabará gerando diferentes pontos de vista sobre as coisas. Os meios de comunicação de massa, por conseguinte, são indicadores precoces de interesses públicos futuros. Nesse caso, a análise das matérias produzidas pela imprensa fornece dados oportunos sobre a opinião pública de outros tempos. Olhando por sobre os ombros de leitores do passado, podemos

ver, entre outras coisas, como a ciência se refletiu na sociedade. Esse espelho, entretanto, não é nem claro nem plano.

Relevância pública e construção da notícia científica

Notícias podem ser comparadas a uma narrativa dramática.¹ Notícias sobre ciência oferecem ao leitor um pequeno drama sobre ciência e tecnologia, idéia que tem várias implicações. Em primeiro lugar, evita a expectativa que geralmente criamos de que a reportagem é isomórfica às atividades científicas e, portanto, deve ser julgada por sua “precisão”. Ao contrário, a representação da ciência não deve ser julgada pelo critério da precisão, mas pela maneira com que se seleciona e elabora a respeito de eventos e pelas funções que desempenha na esfera pública.² Representações da ciência são contribuições dentro da esfera pública e para ela, nem verdadeiras nem falsas, nem irrelevantes, nem puramente “más” ou educativas. As funções podem variar, mas antes de tudo elas modulam e sincronizam a atenção do público, fornecem interpretações para as pessoas e contribuem para os diálogos do cotidiano.³ Em segundo lugar, a noção de drama sugere a análise de cenário e enredo, este último envolvendo atos, atores, conflitos e julgamento moral. Por analogia consideramos duas dimensões principais das notícias: relevância (*salience*) e construção (*framing*). A relevância de um assunto é definida pela intensidade da cobertura jornalística. Comparamos a flutuação das notícias científicas, mas não o grau de interesse da ciência em relação a outros tipos de notícias. A construção, por sua vez, refere-se ao enredo ou trama da história. Consideramos então um elemento dramático na presente análise: a avaliação das atividades científicas. Com essas categorias, podemos caracterizar o drama público da ciência ao longo do tempo.

A trajetória pública do DNA

A figura 1 mostra o grau de relevância e a avaliação da biologia/biotecnologia na Inglaterra ao longo de um período de 55 anos. A relevância é medida pelo número de artigos publicados numa única fonte de jornal por ano, enquanto a avaliação é baseada na média obtida pela análise do discurso propriamente dito de cada artigo. O gráfico mostra a explosão das novidades biológicas, principalmente no campo da biotecnologia e da engenharia genética, a partir da metade da década de 70. Por volta de 1999 encontram-se 1.666 referências à “genética”, de 4 a 5 por dia, num jornal de prestígio britânico. Nas décadas de 50 e 60 tais referências possuíam uma periodicidade bem menor, provavelmente mensal ou, na melhor das hipóteses, semanal.

¹ BURKE, K. *A grammar of motives*. Berkeley: University of California Press, 1945.

² NEIDHARDT, F. The public as a communication system. *Public Understanding of Science*, 2, 339-50, 1993.

³ BAUER, M. W. & GASKELL, G. Towards a paradigm for research on social representations. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 29/2, 163-186, 1999.

Quadro 1: Os dados

*Comunicação de massa:
relevância e avaliação da biotecnologia*

As tendências a longo prazo da cobertura jornalística são reconstituídas através de duas fontes de pesquisa na imprensa britânica. Consideramos o número de artigos num único jornal como indicador do grau de relevância pública e a avaliação média da biologia/biotecnologia como um índice de atitude do público.

1946-73

A fonte de dados *Science and Technology in the British Press, 1946-90*, abrange cobertura de jornais de 1946 até 1992 (ver BAUER, M. W. *et alii*. *Science and technology in the British press, 1946-1990. A systematic content analysis. Technical Report*, v. 1-4, London, Science Museum and Wellcome Trust for the History of Medicine, 1995). Os dados se constituem numa amostra de probabilidade de artigos impressos, estratificados por ano e jornal. A amostra inclui o *Daily Telegraph*, *Daily Mirror*, *Daily Times*, *Daily Express* e o *Guardian*. O estudo codificou tópicos científicos e tecnológicos (Q36 e Q37), sendo que para nosso propósito selecionamos o subconjunto: "biologia ou biotecnologia". A avaliação da atividade científica é estimada para cada artigo (Q18). Números anuais fornecem um índice confiável da variação na intensidade e na média da avaliação da biologia entre 1946 e 1972. Biotecnologia não era um termo utilizado em discussões públicas antes dos anos 70. Os números de intensidade foram reduzidos à avaliação de uma única fonte.

1973-99

O projeto *Biotecnology and the Public* realiza o monitoramento contínuo das notícias internacionais sobre biotecnologia publicadas pela elite de imprensa nacional entre 1973 e 1999 (ver DURANT, J.; BAUER, M. W. & GASKELL, G. (eds.) *Biotecnology in the public sphere: a European source book*. London: Science Museum, 1998; GASKELL, J. & BAUER, M. W. (eds.) *Biotecnology 1996-2000 – the years of controversy*. London: Science Museum, 2001; BAUER, M. W. & GASKELL, G. (eds.) *Biotecnology – the making of a global controversy*. Cambridge: CUP, 2002; BAUER, M. W. Arenas,

platforms and the biotechnology movement. *Science Communication*, 24, 144-161, 2002.). Os números referentes ao grau de relevância dizem respeito a uma única fonte (*Times* até 1987; *Independent* após 1987), utilizando palavras-chave como genes, biotecnologia, clonagem ou DNA. A codificação é baseada em amostras de artigos estratificada escolhidas ao acaso. A avaliação utiliza um índice negativo (Q23a) e um índice positivo (Q23b) da biotecnologia. O índice é definido pela diferença entre os índices positivo e negativo. Consideramos os índices equivalentes antes e depois de 1973 para todos os propósitos e os padronizamos antes e após 1973, segundo sua média a longo prazo. Os números-padrão indicam o desvio anual da média a longo prazo. Os números pré 1973 foram ligeiramente elevados. Calibrando-se as duas séries evita-se a falsa impressão de uma mudança em 1972/73, o que se constitui num artefato de utilização de diferentes medidas.

*Percepções do público:
otimismo sobre a biotecnologia*

O índice de otimismo está baseado nos dados britânicos do Eurobarômetro, um instrumento da Comissão Européia para monitorar atitudes em estados membros da Europa. Cada pesquisa constitui-se numa amostra representativa da população e com um número de amostra estipulado como n=1000. Esse instrumento foi utilizado para medir as atitudes públicas em relação à ciência e tecnologia em geral (10a de 1978) ou à biotecnologia em particular (35.1 de 1991, 39.1 de 1993, 46.1 de 1996 e 52.1 de 1999). Um item fornece um índice comparável de otimismo. Em 1978, perguntou-se aos britânicos e outros europeus: "Você acha que vale a pena a transmissão de características hereditárias que possam melhorar as qualidades das espécies existentes?" (nenhum interesse em particular/um risco inaceitável). Em ocasiões posteriores a pergunta foi alterada para: "Você acredita que a biotecnologia vai melhorar nossa maneira de vida nos próximos vinte anos?" (não possui nenhum efeito/tornará as coisas piores/não sei) Nosso índice reporta o percentual de respostas que refletem uma atitude otimista: "vale a pena" (1978) e "melhorará nossas vidas" (1991 até 1999). Todos os números apresentam uma margem de erro de +/- 3% a 95% de significância.

A avaliação da genética mostra altos e baixos que são característicos nessa situação. A tendência geral cobre dois ciclos de entusiasmo crescente e em declínio pela biologia e genética. Até 1960 a avaliação da biologia apresenta-se mais positiva, para tornar-se negativa no início da década de 70. Da mesma forma, até o início do ano de 1981 as notícias são novamente mais positivas, e mudarão drasticamente ao longo das décadas de 80 e 90. À medida em que as novidades na biotecnologia explodem, o discurso torna-se mais variado e cético. Entretanto, a despeito dessa mudança na tendência, a mensagem geral da biotecnologia permanece largamente positiva.⁴ A relevância e a avaliação sugerem então duas fases de notícias no campo da genética e da biotecnologia: um primeiro período, de 1946 ao início da década de 70, e um segundo período, do início da década de 70 até o final do século e provavelmente além, cada período caracterizado por ciclos de entusiasmo. Observamos que a metade da década de 70 constitui-se realmente nos primórdios daquilo que se tornará a nova biotecnologia, baseada em técnicas de DNA recombinadas, com intervenção ao nível do gene e não apenas ao nível da célula, conforme técnicas tradicionais como a fermentação (antiga biotecnologia).

⁴ BAUER, M. W.; DURANT, J.; GASKELL, G. LIAKOPOULOS, M. & BRIDGMAN, E. United Kingdom. In: DURANT, J.; BAUER, M. W. & GASKELL, G. (eds.) *Biotechnology in the Public Sphere: a European Sourcebook*. London: Science Museum, 1998. p. 162-176.

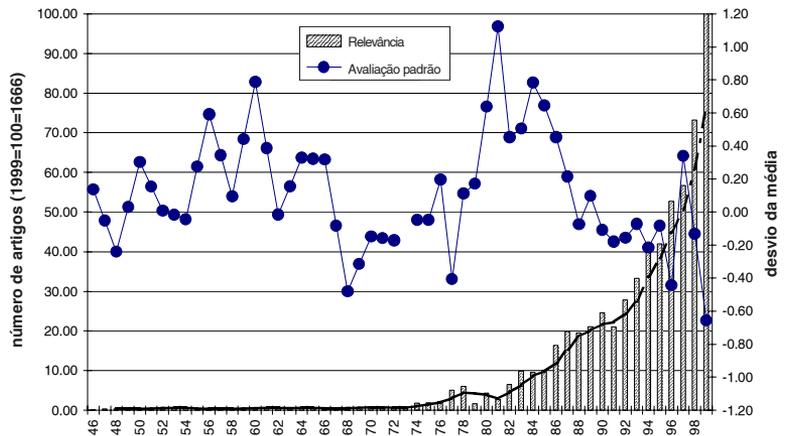


Figura 1: Relevância e avaliação da bio(tecno)logia entre 1946 e 1999. A figura mostra a relevância e avaliação das notícias sobre biologia/genética entre os anos 1946 e 1999 na conceituada imprensa britânica. O índice de importância é 100 em 1999, representando um cômputo de 1.666 referências à biotecnologia numa única fonte jornalística. O índice de avaliação mostra desvios da média a longo prazo. A avaliação é baseada na média anual de artigos caracterizados, de um lado, pelo “discurso promissor” (alta valoração) e, de outro lado, pelo “discurso de preocupação” (baixa valoração). As médias são padronizadas conforme tendência a longo prazo.

- ⁵ BAUER, M. W.; RAGNAS-DOTTIR, A.; RUDOLF-DOTTIR, A. & DURANT, J. Science and technology in the British press, 1946-1990. A systematic content analysis. *Technical Report*, v. 1-4, London, Science Museum and Wellcome Trust for the History of Medicine, 1995.
- BAUER, M. W. Science in the media, as cultural indicator: contextualising surveys with media analysis. In: Dierkes, M. & von Grote, C. (eds.) *Between understanding and trust: the public, science and technology*. Reading: Harwood Academics Publisher, 2000. p. 157-178.
- ⁶ BAUER, M. W. The medicalisation of science news: from the rocket-scalpel to the gene-meteorite complex. *Social Science Information*, 37, 731-751, 1998.

Nesse contexto, podemos comparar essa trajetória à das notícias de ciência em geral.⁵ Ao longo dos anos pós-guerra, a ciência biomédica substituiu as ciências físicas, tanto em relação ao foco na política da ciência quanto em relação à focalização no público. A reportagem sobre a ciência muda do complexo “foginete-bisturi” (*rocket-scalpel*) para o do “gene-meteorito” (*gene-meteorite*).⁶ Com efeito, as notícias da área científica têm seu *boom* em 1962, entrando em declínio após esse pico. Mas o grau de relevância da biologia não foi afetado por esse *boom*, permanecendo baixo. As ciências físicas eram portadoras das principais novidades: força nuclear militar e civil, e explorações espaciais. Seu discurso de avaliação está mais ou menos em sincronia com as novidades da ciência em geral: entusiasmo crescente até a década de 60 seguido por um declínio até a década de 70. Os anos 70, por sua vez, testemunharam sentimentos públicos em geral anticientíficos. A partir da metade dos anos 70, entretanto, a recente ascensão da relevância na área da biotecnologia vai-se constituir num fator importante do novo ciclo de notícias sobre ciência. Enfim, na década de 90, a engenharia genética passou a ocupar as manchetes dos jornais. No entanto, a tendência na avaliação da biotecnologia está em oposição à da ciência em geral. O entusiasmo pela ciência é recuperado ao longo das décadas de 80 e 90, enquanto que o ceticismo pela genética e pela engenharia genética amadurece e aumenta no mesmo período. Testemunhamos um *ceticismo público que é específico à biotecnologia*, ceticismo que não abrange a ciência e tecnologia como um todo, como pode ter havido anteriormente. Por exemplo, a tecnologia da informação e os estudos ambientais atraíram enorme entusiasmo público durante aquele período. Os prospectos empresariais do computador doméstico (PC) na década de 80 e a Internet na década de 90 ocuparam a cena até abril/maio de 2000, quando a ilusão se rompeu numa crise que continua até o presente.

Em resumo, o primeiro declínio no entusiasmo pela genética durante os anos 60 reflete um crescente sentimento anticientífico ou antitecnológico em tempos nutridos por autocríticas vigorosas, emanadas dos próprios círculos científicos. Por sua vez, a segunda reversão no entusiasmo, ocorrida nas décadas de 80 e 90, está relacionada especificamente à engenharia genética e não se estende a outras ciências, com a exceção, talvez, da energia nuclear, que continua longe das graças do público. Um exame mais minucioso de cada período pode revelar detalhes interessantes.

Antes da década de 70: a fase da descoberta

O período anterior a 1972 pode ser considerado a fase de descoberta científica na genética. O evento mais importante é a formulação da estrutura de dupla hélice do DNA, realizada por Watson e Crick na Universidade de Cambridge em 1953, com estreita colaboração dos cristalógrafos do King's College em Londres, Franklin e Wilkins. Esse esforço repercutiu na imprensa. A figura 2 mostra relativo crescimento na cobertura jornalística da biologia pela imprensa britânica até 1953. Naquela época, muitas notícias consistiam num resumo exaltando trabalhos publicados nas revistas *Nature* ou *Science*, com pouca elaboração jornalística. Geralmente o grau de interesse público pela biologia era baixo se comparado ao que estava por vir, com a média de um artigo por mês. Notícias científicas eram historiadas e existiam em quantidade cada vez maior sobre física atômica na sua aplicação militar e, após a conferência “Átomos pela Paz” em Genebra, também nas suas aplicações civis. A Inglaterra era um importante parceiro e sua famosa “relação especial” com os Estados Unidos estava baseada na capacidade nuclear conjunta dos dois países. Notícias sobre genética eram marginais, em épocas ligadas a histórias atômicas e seus danos genéticos potenciais oriundos de partículas radioativas.⁷

⁷ WEART, S. R. *Nuclear fear. A history of images*. Cambridge: HUP, 1998.

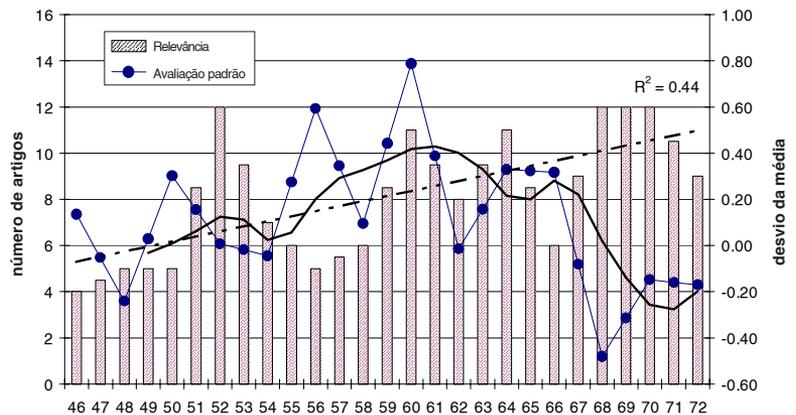


Figura 2: Relevância e avaliação no período 1946 e 1972. A figura apresenta as tendências com relação ao grau de interesse e à avaliação das notícias sobre biologia no período compreendido entre 1946 e 1972. A linha pontilhada indica uma tendência linear com uma precisão de 0.44. Os artigos foram computados por ano numa única fonte jornalística. O índice de avaliação mostra desvios da média a longo prazo. Números baixos significam uma avaliação abaixo da média, números elevados significam avaliação mais alta do que a média. A linha contínua representa uma movimentação média de avaliação.

Notícias sobre biologia mostraram crescimento no início da década de 60, refletindo a expansão da genética médica e clínica, de certo modo na esteira da eugenia pré-guerra. A Sociedade Britânica de Eugenia tentou deter o declínio previsível antes de mudar seu nome para Fundação Galton, em 1969. A conferência “O Homem e seu Futuro”, que essa Fundação promoveu em 1963, apresentou Julian Huxley, fundador do WWF (Fundo Mundial para a Natureza) e primeiro diretor da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). Huxley estabeleceu uma ligação entre idéias eugênicas e partículas radioativas. Sua argumentação indicava que, para impedir a deterioração genética provocada por uma precipitação radioativa, seria urgente que a humanidade criasse um banco de esperma congelado, esperma que seria retirado de espécimes masculinas saudáveis e inteligentes e que poderia ser utilizado posteriormente.⁸ O florescimento da pesquisa genética levou à identificação de anomalias genéticas associadas a síndromes tais como Down e Turner e, de maneira controversa, ligadas a tendências criminosas. Em 1969, um hospital de Londres começou a oferecer diagnóstico pré-natal usando amniocentese e, por volta de 1972, 35 clínicas já seguiam esse procedimento. Esses eventos foram noticiados pela imprensa e estão refletidos no aumento de seu grau de relevância junto ao público.

O renascimento de idéias eugênicas não se deu sem contestação, considerando seu passado notório na Europa nazista. O tom da cobertura jornalística da reportagem biológica mudou. O entusiasmo pós-guerra pela revolução genética, antecipando a idéia de mapeamento de genes, no início dos anos 60, sofreu mudança para notas mais céticas, nos anos 70. Tais assuntos foram levantados em protestos estudantis de 1968/69 e culminaram no debate sobre QI, numa acirrada polêmica pública sobre natureza-criação no desenvolvimento humano, fato que atraiu a atenção para os psicólogos Burt e Eysenck na Inglaterra.⁹

Após 1973: a fase empresarial

O ano de 1973 é um marco divisório para a engenharia genética. Herbert W. Boyer & Stanley Cohen da Universidade Stanford, reelaborando trabalho anterior de Paul Berg e de Annie Chang, obtiveram uma patente para seus métodos de recombinação do DNA. Esse fato deu início a uma nova era da biotecnologia, conhecida como a “corrida do ouro genética”, interessada na exploração comercial de intervenções e diagnósticos ao nível do gene. Esse lance de

⁸ Ver THOM, D. & JENNINGS, M. Human pedigree and the ‘best stock’: from eugenics to genetics? In: MARTEAU, T. & RICHARDS, M. (eds.) *The troubled helix. Social and psychological implications of the new human genetics*. Cambridge: CUP, 1996. p. 211-234. p. 227.

⁹ Ver GOULD, S. J. *The mismeasure of man. The definitive refutation of the argument of The Bell Curve*. New York: WW Norton & Company, 1996 (2nd revised edition).

abertura deixou duplo legado: um novo setor empresarial e algumas questões relacionadas à ética e à segurança de tais pesquisas.

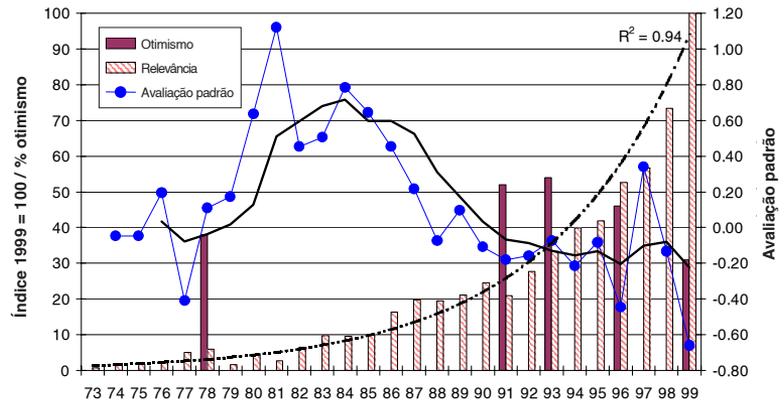


Figura 3: Relevância, avaliação e atitudes do público entre 1973 e 1999. A figura mostra o crescimento exponencial da relevância, o ciclo de avaliação na imprensa e o nível de otimismo público sobre a biotecnologia em pesquisas de opinião. A relevância está indexada em 100% em 1999, quando 1.666 artigos sobre biotecnologia foram publicados num único jornal. A linha pontilhada mostra o valor exponencial de 94% para a relevância. O índice de avaliação mostra o desvio da média a longo prazo: números baixos indicam avaliação abaixo da média, valores positivos indicam avaliação acima da média. A linha escura contínua representa a inconstância da média da avaliação. O otimismo, representado pelas barras escuras, informa o percentual de britânicos que declara expectativas otimistas sobre a biotecnologia para os próximos 20 anos; o questionário foi feito em 1978, 1991, 1993, 1996 e 1999.

Em 1976, Herbert Boyer fundou a primeira empresa biotécnica na Califórnia, a *Genentech*. Este ato abriu caminho para um rápido desenvolvimento de ações conjuntas entre universidades e capital privado nas décadas de 80 e 90.¹⁰ Muitas companhias foram à bolsa de valores durante os anos 90, o que levou a uma onda de notícias empresariais de extremo entusiasmo. Por outro lado, os cientistas envolvidos em pesquisa de DNA publicaram uma carta aberta¹¹ apontando os perigos de tal pesquisa e pediram uma moratória até que os riscos fossem definidos e controlados. A conferência californiana Asilomar, de 1975, discutiu esses pontos num fórum público. Fóruns semelhantes ocorreram na Inglaterra e em outros países. Foi um marco histórico: os cientistas até então interessados em manter suas investi-

¹⁰ HABER, E. Industry and the University. *Nature Biotechnology*, 14 (april), 441, 1996.

¹¹ BERG *et alii*. Potential bio-hazards of recombinant DNA molecules. *Science*, 1985, 303, 1974.

gações livres de coerções sociais, agora, na vanguarda de pesquisas, chamavam deliberadamente a atenção sobre si próprios.

Ambos os eventos provaram sua importância histórica, entretanto, tiveram pouco impacto público imediato, como mostra a figura 3. Deparamo-nos com algum crescimento na cobertura jornalística em 1977 e 1978, com uma depressão na avaliação e, por volta de 1978, com um nível de otimismo da percepção pública apenas moderado a respeito desses novos desenvolvimentos científicos. O impacto de Berg *et alii.* e Asilomar logo seria substituído pelo discurso que exaltava o progresso científico e as expectativas econômicas.¹²

¹² BAUER, M. W. *et alii.* *Op. cit.*, 1998.

Em 1980 o governo britânico, da mesma forma que a OECD (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico) e outros órgãos, havia reconhecido oficialmente o fato de que a nova biotecnologia representava o futuro. Essas mudanças estavam refletidas no progressivo entusiasmo da imprensa. A cobertura jornalística cresceu exponencialmente, tendo passado de um item de notícia mensal para cinco ou seis referências diárias num único jornal. O ano de 1984 testemunhou a chegada do *finger-printing* do DNA,¹³ o que alimentou as notícias de crime com implicações genéticas. A identificação dos restos mortais da família do czar russo tornou-se uma referência na imagem pública da genética. Por volta de 1990/91, entretanto, tendo a Comunidade Européia formulado regulamentação da biotecnologia, com forte contribuição britânica, o debate esfriou: relevância reduzida e avaliações estáveis. Muitos sentiram que a polêmica em torno da biotecnologia estava acabada. Hoje sabemos que ainda há muito a ser discutido.

¹³ Técnica que permite identificar uma pessoa a partir de amostras que contêm material genético como cabelo, esperma etc., deixados, por exemplo, por criminosos em suas vítimas.

Dos anos 90 possuímos repetidas observações de percepções públicas que comparamos com o discurso da mídia. Se durante a segunda metade dos anos 80 o entusiasmo da mídia pela engenharia genética esfriava, o otimismo nas percepções do público continuaria a crescer até 1993. O público britânico achava que a engenharia genética valia a pena: esse sentimento passou de um terço dos entrevistados em 1978 para mais da metade da população em 1993. Após essa data o otimismo público se retraiu, atingindo 30% apenas em 1999. Tal reviravolta segue a do discurso dos meios de comunicação de massa, porém com atraso de tempo considerável. No entanto, dois eventos concretos fizeram com que a opinião pública reconsiderasse os fatos.

A metade dos anos 90 assistiu à chegada de produtos alimentícios geneticamente modificados (GM), o tomate *Calgene's Flavr Savr*, nos Estados Unidos, e seu parente britânico, a pasta de tomate *Zeneca*. Os produtos não tiveram aceitação não tanto em virtude da resistência do consumidor, mas por razões corporativistas.¹⁴ Na Inglaterra, em plena experiência com a participação do público, a conferência de consenso sobre biotecnologia de planta, realizada em 1994, coincidiu com o lançamento desses produtos.¹⁵ Nessa ocasião foi cunhado o termo “Frankenfood”, em alusão ao mito do Dr. Frankenstein, para caracterizar a suposta irresponsabilidade científica na produção de alimentos. Essa imagem teve repercussão. A Inglaterra estava atravessando um período de epidemia de BSE (Síndrome da Vaca Louca) nos seus rebanhos, com conseqüências para a indústria alimentar. Importações de soja *Roundup Ready* da Monsanto para a Europa, no outono de 1996, deram um motivo concreto para ambientalistas e organizações de consumidores se manifestarem contra os alimentos transgênicos. A falha na regulamentação de rótulos de produtos e as lacunas de informações que eles deveriam conter mobilizaram o consumidor e sentimentos ambientais, com repercussões na Europa e além, difamando não apenas a agroquímica Monsanto, mas também todo o projeto de biotecnologia agrícola. Experimentos de campo eram sabotados para chamar a atenção e importantes indústrias de alimentos empenhavam-se em evitar produtos GM. Assim, o cultivo de produtos para rações e alimentos geneticamente modificados tornou-se assunto de destaque no comércio internacional.

Em fevereiro de 1997, o Instituto Roslin na Escócia anunciou a clonagem de uma ovelha de nome Dolly. Fotografias desse animal circularam pelo mundo todo, criou-se um noticiário simultâneo e sem fronteiras e ouviu-se um grito moral sobre a possibilidade de clonagem humana. Portanto, o debate atual sobre clonagem da célula-base retira o ímpeto de sua explosão inicial e mistura-se à consciência do público a respeito dos esforços para mapear o genoma humano, que começou no fim dos anos 80, mas com pouca divulgação pública.

Em resumo, a chegada de alimentos GM e a clonagem de Dolly tornaram-se marcos divisórios na carreira pública da biotecnologia.¹⁶ O discurso público cada vez mais se dividiu em biotecnologia agrícola “verde”, cética e não entusiasmada, e biotecnologia biomédica “vermelha”, com sérias preocupações éticas, entretanto recebendo apoio pelo seu potencial de salvar vidas.¹⁷

¹⁴ MARTINEAU, G. *First fruit. The creation of the Flavr Savr tomato and the birth of biotech food*. New York: McGraw-Hill, 2001.

¹⁵ EINSEIDEL, E. Citizen Voices: Public participation on biotechnology. *Noticie di Politeia*, 17, 63, 94-104, 2001.

¹⁶ BAUER, M. W. & GASKELL, G. *Op. cit.*, 2002.

¹⁷ BAUER, M. W. Controversial medical and agri-food biotechnology: a cultivation analysis. *Public Understanding of Science*, 2, 11, 1-19, 2002.

Conclusão

Distinguimos duas longas fases – 1946-1972 e 1973-presente – no mapeamento do sentimento público com relação à genética e à biotecnologia. Cada uma dessas fases abrange um ciclo de ascensão e declínio de entusiasmo. Foram identificados vários tópicos polêmicos que ocuparam a mente das pessoas: a própria descoberta do DNA, o renascer de idéias eugênicas, o debate sobre QI, o processo de patente de genes, a criação de um novo setor empresarial, impressões digitais do DNA, o projeto de genoma humano, colheitas e alimentos geneticamente modificados e a ovelha Dolly. Eventos do tipo Asilomar acionaram o alarme sobre perigos da engenharia genética na metade dos anos 70, mas com pouco impacto. Vinte anos depois, essas preocupações reapareceram, dessa vez com maior ímpeto e relevância pública na Inglaterra e em vários países. As redes de participantes de discussões a respeito do DNA na atualidade mantêm um debate na Inglaterra e em outros lugares sobre a segurança de alimentos GM, saúde ambiental de produtos agrícolas GM, domínio corporativista sobre sementes GM e biodiversidade, patente de formas de vida, conseqüências psicológicas e sociais da identidade genética, ética da terapia de genes e da clonagem da célula-base, sociedade de informação genética, confiabilidade das impressões digitais de DNA e, patente de materiais genéticos. Enfim, os eventos de 11 de setembro de 2001 levantaram a questão de que a biotecnologia pode apresentar também o problema da proliferação militar. Grupos interessados continuam a se perguntar qual analogia histórica seria adequada para a biotecnologia, o legado do poder nuclear ou o sucesso da informação tecnológica.

Contar a história do DNA na imaginação pública é ainda uma tarefa a ser empreendida por algum historiador. Este trabalho, no entanto, demonstra, através do exemplo da Inglaterra, fases de longa duração claramente definidas sobre os sentimentos do público em relação ao DNA, à genética e à biotecnologia. Estas fases refletem resultados de pesquisa, mas também tendências no *Zeitgeist*. Historiadores podem conseguir bons resultados, a exemplo dos aqui desenvolvidos, ao periodicizar “genética popular” no século XX e além dele.

Martin W. Bauer é graduado em Psicologia e História Econômica, PhD em Psicologia Social e conferencista senior no Departamento de Psicologia Social da London School of Economics, Inglaterra.

M.Bauer@lse.ac.uk

Texto traduzido por Ana Abelin, com versão final de Zília Mara Scarpari.

QUANDO A
CIÊNCIA VIRA NOTÍCIA
UM MAPEAMENTO DA GENÉTICA
NOS JORNAIS DIÁRIOS

*Luisa Massarani
Isabel Magalhães
Ildeu de Castro Moreira*

A genética e suas aplicações são hoje um dos principais assuntos na cobertura de ciência da mídia. No entanto, alguns dos mais importantes jornais diários brasileiros vêm tratando de uma maneira inapropriada temas relacionados a esse campo do conhecimento, suas novas tecnologias e as aplicações decorrentes das mesmas. Em grande parte, são ressaltados apenas aspectos positivos. Questões éticas, morais e de riscos têm pouco destaque e, em geral, surgem associadas a áreas específicas como a transgenia de alimentos e a clonagem de seres humanos.

A genética e a mídia

A genética e suas aplicações são hoje um dos principais assuntos na cobertura de ciência na mídia. Estudos recentes têm buscado analisar como tal cobertura ocorre, os conteúdos e atitudes transmitidos e os possíveis impactos sobre o público.¹

¹ PETERS, H. P. *Is the negative more relevant than the positive?* Cognitive responses to TV programs and newspaper articles on Genetic Engineering. Trabalho apresentando na 5th International Conference on Public Communication of Science & Technology "Science without Frontiers – Wissenschaft, Medien, Öffentlichkeit", Berlim, 1998.

CONDIT, C. M. *et al.* An Exploratory Study of the Impact of News Headlines on Genetic Determinism. *Science Communication*, 22 (4): 379-395, 2001.

NISBET, M. C. & LEWENSTEIN, B. V. Biotechnology and the American Media: The Policy Process and the Elite Press, 1970 to 1999. *Science Communication*, 23, (n. 4): 359-391(33), June 2002.

MASSARANI, L.; MAGALHÃES, I. & MOREIRA, I. C. *Quando a ciência vira notícia: um mapeamento da genética nos jornais diários.* I Encontro Regional da SBEnBIO, Rio de Janeiro, August, 2001.

MASSARANI, L.; MAGALHÃES, I. & MOREIRA, I. C. *A ética, a moral e os riscos das novas tecnologias da genética: uma análise dos jornais brasileiros.* Trabalho apresentado na VII Reunión RED-POP, Santiago, Chile, 2001.

Seguindo a mesma linha de investigação, examinamos como alguns dos mais importantes jornais diários brasileiros vêm tratando temas relacionados a esse campo do conhecimento, as novas tecnologias utilizadas e os usos delas decorrentes. Além de possibilitar um melhor entendimento de como a mídia nacional aborda os assuntos científicos, os resultados poderão servir como subsídio para se repensar e aprimorar a forma como a divulgação científica de temas ligados à genética moderna tem sido realizada.

Esse estudo faz parte de uma pesquisa mais ampla, que visa investigar como a genética vem sendo tratada pela mídia impressa de três países diferentes desde 1997, tomando como ponto de partida a clonagem da ovelha Dolly. Tal projeto envolve pesquisadores do Canadá, do Brasil e da França e deve permitir análises comparativas entre o comportamento da mídia nesses países.

Metodologia

Segundo a metodologia adotada, foram identificados e analisados todos os textos publicados em *O Estado de São Paulo*, *Folha de São Paulo*, *O Globo*, *Extra* e *Jornal do Brasil*, ao longo de um ano, no período de junho de 2000 a maio de 2001, referentes ao tema geral da genética moderna, seus usos e impactos. O número total de artigos localizados por nós foi de 751, o que evidencia o alto interesse sobre o tema presente na cobertura da imprensa brasileira. Os textos foram selecionados manualmente, após inspeção visual, com base em uma pesquisa exaustiva dos periódicos escolhidos.

Os artigos ganharam uma classificação por assunto, de acordo com os seguintes agrupamentos: Sequenciamento genético (incluindo o Projeto Genoma Humano); Clonagem; Organismos transgênicos; Reprodução assistida; Associação de genes com doenças e/ou características comportamentais; Terapia genética; Manipulação genética em embriões; Propriedade intelectual; Outros. Identificamos a proveniência da matéria, se de lavra local ou de periódico ou agência de notícia do exterior.

Os artigos foram também classificados considerando-se sua dimensão: muito grande (uma página ou mais), grande (1/2 página), médio (1/4 de página), pequeno (menos de um quarto de página), notas (para textos bem pequenos). Observou-se, também, se os textos veiculavam imagens, agrupadas como ilustração (infográficos ou desenhos para facilitar a compreensão do leitor), ilustrações decorativas (desenhos sem informação explicitamente veiculada) e fotografias. Não abordaremos aqui, a questão da correção científica do material analisado, o que mereceria uma análise à parte.

Outro aspecto considerado foi se as reportagens abordavam ou não aspectos éticos, legais e de riscos da pesquisa científica. Investigamos, ainda, se os textos expressavam ou não uma visão de determinismo genético, ou seja, preconizando que determinadas doenças ou comportamentos individuais estão associados unicamente à presença de certos genes.²

Uma análise qualitativa foi também realizada, buscando identificar o posicionamento global dos artigos de jornal perante as novas tecnologias da genética: se eram ressaltadas unicamente aplicações positivas (as “maravilhas” da nova genética), se ganhavam destaque aspectos negativos ou se o texto apresentava um ponto de vista em que prós e contras eram confrontados.

Resultados

Como mostra a tabela 1, pesquisas relacionadas ao mapeamento genético (genoma humano e outros organismos) foram o principal tema abordado nas matérias consideradas. Podemos identificar alguns fatores que contribuíram para que isto ocorresse: realização e divulgação de resultados de pesquisas científicas de grande repercussão, no período considerado. Entre eles, ressaltamos: o rascunho do Projeto Genoma Humano, divulgado em junho/2000, sendo o mapeamento quase totalmente finalizado em fevereiro/2001; os grandes investimentos feitos pelo governo federal e pelos governos estaduais de São Paulo e do Rio de Janeiro nesse campo da ciência; a realização do seqüenciamento da *Xylella fastidiosa*, uma pesquisa brasileira que foi capa da revista *Nature* em julho de 2000.

O segundo tema mais presente nos jornais considerados foi o registro de pesquisas relacionadas à identificação de genes possivelmente associados a doenças e características comportamentais dos indivíduos. Dentre os artigos que tocavam nesse ponto (que somaram cerca de 215 e, portan-

² CONDIT, C. M. *The meanings of the gene – Public debates about Human Heredity*. Madison: The University of Wisconsin Press, 1999.

ROSE, S. *Lifelines – Biology, Freedom, Determinism*. Londres: The Pinguin Press, 1997.

ROSE, S. The rise of neuro-genetic determinism. *Soundings*, 2: 53-70, 1996.

ROSE, S. Darwin, Genes and Determinism, *website* da BBC: <http://www0.bbc.co.uk/education/darwin/leghist/rose.htm>, 2001.

Veja também entrevista com Steven Rose nesta edição.

to, 8,6% do total de matérias analisadas), a maioria (82,8%) apresentava uma visão que enfatiza o determinismo genético, desconsiderando possíveis efeitos de fatores ambientais, sociais e culturais de várias ordens. Entre os artigos que abordaram esse segundo tema, um número pequeno (cerca de 7,4%) manifestou oposição explícita à idéia do determinismo genético. Em torno de 9,8% consideraram a influência tanto de fatores genéticos quanto de fatores “externos” no desenvolvimento das características individuais.

³ Alguns artigos analisados abordavam mais de um tema.

Tabela 1: Distribuição dos artigos por assunto (%)³

Mapeamento genético	77,9%
Associação de genes com doenças ou comportamento	30,0%
Transgênicos	23,7%
Clonagem	13,7%
Terapia genética	6,6%
Propriedade intelectual	4,8%
Reprodução assistida	4,1%
Manipulação genética em embriões	3,6%
Outros	13,0%

As seguintes doenças ou características físicas e de comportamento foram relacionados aos genes: câncer, dependência de fumo e drogas, alcoolismo, morte súbita, envelhecimento, longevidade, agressividade, gosto por doce, aptidão à música e obesidade.

Houve também bastante cobertura sobre o tema – polêmico no Brasil e no mundo – referente à produção e consumo de alimentos transgênicos. Eles foram o tema de 23,7% dos artigos analisados, sendo que 71,3% desses textos estavam relacionados a alimentos e plantações. O tema foi o que esteve mais presente entre 118 textos que expressaram uma perspectiva mais crítica perante a genética, sendo que 57 relacionavam-se a transgênicos.

Pelas categorias exibidas na tabela 2, parcela importante da imprensa diária brasileira considerada mantém, em linhas gerais, uma postura favorável diante das pesquisas genéticas e suas aplicações. A caracterização das atitudes presentes nas matérias jornalísticas foi realizada por meio de uma leitura cuidadosa que possibilitou uma avaliação qualitativa razoável, embora se reconheça que tal tarefa carregue graus de imprecisão e de subjetividade não desprezíveis.

Tabela 2: Atitudes da imprensa perante a genética

Postura favorável	54,2%
Postura favorável com ressalvas	5,0%
Postura desfavorável	15,7%
Sem posicionamento explícito (prós e contras)	30,1%

Como mostra a tabela 3, questões relacionadas à ética, à moral, aos aspectos legais e aos riscos têm presença reduzida nos principais jornais diários brasileiros. Parece-nos que tal situação tem mudado nos últimos anos, com um crescimento no número de matérias que abordam esses aspectos, mas não temos dados confiáveis que permitam afirmar isso com segurança, já que não fizemos uma investigação da série histórica desse tipo de cobertura.

Tabela 3: Aspectos éticos, morais, legais e de riscos

Discute aspectos éticos e/ou morais	9,8%
Alusão a riscos	11,2%
Alusão a aspectos legais	16,1%

Outro ponto que nossa análise permitiu avaliar, embora já bem conhecido, é o fato de que os temas relacionados à saúde têm presença importante nas páginas dos jornais diários brasileiros. Neste sentido, 53,3% das matérias identificadas abordavam as aplicações da genética moderna na saúde. Para fins comparativos, por exemplo, 18,1% referiam-se a aplicações na agricultura e/ou na indústria.

A origem das matérias publicadas nos jornais analisados no período, se relativas a temas de pesquisas internacionais ou a pesquisas realizadas no Brasil, consta da tabela 4.

Tabela 4: Origem da notícia (país)

Eventos/descobertas internacionais	58,7%
Eventos/descobertas nacionais	33,5%
Nacionais e internacionais	7,7%

Como observamos, a presença de eventos e descobertas internacionais é significativamente maior. Um aspecto de registro importante é que muitas vezes estudos de outros países de pouca relevância científica são tema de reportagens, em detrimento de questões nacionais mais pertinentes aos leitores.

Outros fator digno de atenção é que metade do total de matérias publicadas por esses jornais sobre o tema considerado provém de agências de notícias ou de periódicos do exterior (sendo em muitos casos traduções diretas ou adaptadas desses materiais). Entre eles, identificamos: *Nature*, *Science*, *New York Times*, *Daily Telegraphy*, *Wall Street Journal*, *Journal of Gene Therapy and Molecular Biology*, *American Journal of Human Genetics*, *France Presse* e *Reuters*.

Isto certamente é um reflexo do fato de que algumas revistas científicas, a exemplo da *Science* e da *Nature*, vêm adotando a estratégia de enviar a jornalistas de todo o mundo *press-releases* antecipados de suas edições. É, portanto, uma fonte farta de sugestões de reportagem, tornando disponíveis textos que muitas vezes são publicados na íntegra pelos jornais. Além disto, tais artigos foram previamente submetidos a um processo de avaliação *peer-review*, dando, portanto, respaldo aos jornalistas no sentido de ter uma fonte de informações em princípio confiável.

Três aspectos negativos decorrem disto. O primeiro deles é que favorece uma atitude de preguiça crescente entre os jornalistas, que sistematicamente passam a apoiar-se nesse material como uma de suas principais fontes. O segundo aspecto é que a mídia de todo o mundo se homogeneiza cada vez mais. Como resultado, a imprensa nacional está gradativamente sendo ditada pelo corpo editorial de um número reduzido de publicações científicas que, em grande parte, publicam artigos que seguem os interesses e as necessidades de países de Primeiro Mundo, em detrimento de questões de maior relevância para os demais países. Há de se considerar, ainda, que o sistema de *peer-review*, embora importante, não está imune a falhas.

Por outro lado, em casos excepcionais, houve um destaque excessivo para a pesquisa nacional. Exemplos disto ocorreram quando pesquisadores do país obtiveram certo destaque no cenário internacional, gerando uma onda de otimismo e nacionalismo, com grandes expectativas de que o país poderia também fazer parte da corrida genômica internacional. Fato simbólico foi a finalização do sequenciamento da *Xylella fastidiosa*, importante praga agrícola, que mereceu capa na *Nature* – a primeira vez que isto ocorreu com um fato da pesquisa brasileira nos 130 anos de existência desta revista britânica. O acontecimento mereceu destaque em vários jornais.

A participação direta de cientistas na produção das matérias de jornais que analisamos revelou-se baixa (2,4%). Ressalte-se, no entanto, que essa presença reduzida ocorre em um contexto do país em que apenas jornalistas podem, por lei, escrever em jornais brasileiros, sob pena de multa. A presença dos cientistas, portanto, ocorre em espaços tais como editoriais de opinião e colunas assinadas.

Outro aspecto considerado foi a extensão dos textos. Observamos que no período indicado, 31,3% estavam na categoria pequeno; 23,8%, notas; 21,6%, de tamanho médio; 18,4%, grande e 4,9%, muito grande. No que se refere ao material iconográfico, 14,0% do total veicularam fotos; 11,2%, desenhos ou diagramas explicativos e 2,8%, imagens meramente ilustrativas. Ressalte-se que as ilustrações geradas para as reportagens sobre a finalização do sequenciamento do Projeto Genoma tiveram cuidado particular em sua elaboração.

Um último comentário deve ser feito. A genética não se restringe mais à editoria de ciência. Um número significativo de matérias desse tipo foi identificado nos mais diversos espaços dos jornais: quadrinhos, esportes, publicidade, família, crônicas, editoriais etc.

Considerações finais

Entre as principais conclusões que podemos extrair dos dados coletados, observamos que a atitude presente nas matérias dos grandes jornais brasileiros analisados ressalta fundamentalmente aspectos positivos associados à genética moderna e suas aplicações. Isso pode favorecer uma distorção na apreciação do público sobre o estado dos conhecimentos científicos nessa área e sobre o funcionamento do aparato científico e tecnológico, além de evidenciar uma perspectiva jornalística que minimiza riscos e limitações da atividade científica. As questões éticas, morais e de risco têm pouco destaque e, em geral, quando mencionadas, aparecem associadas a áreas específicas bem determinadas como a transgenia de alimentos e a clonagem de humanos. Riscos relacionados às novas tecnologias e aplicações mal sucedidas, quando mencionados, geralmente o são apenas de forma superficial e sem uma reflexão mais aprofundada sobre a questão.

Cerca de metade das notícias e artigos analisados foi traduzida e/ou adaptada de materiais provenientes do exterior, o que traduz uma deficiência de conhecimento local sobre ciência. Por outro lado, quando são ressaltados espec-

Outras fontes de consulta

NELKIN, D. & LINDEE, S. *The DNA Mystique: The Gene as Cultural Icon*. New York: W. H. Freeman, 1995.

NISBET, M. & LEWENSTEIN, B. V. A Comparison of U. S. Media Coverage of Biotechnology with Public Perceptions of Genetic Engineering 1995-1999. Trabalho apresentando na 2001 International Public Communication of Science and Technology Conference, Genebra, Suíça.

TURNERY, J. *Frankstein's Footsteps – Science, Genetics and Popular Culture*. New Haven, Londres: Yale University Press, 1998.

VAN DIJCK, J. *Imagenation: Popular Images of Genetics*. Washington Square, New York: New York University Press, 1998.

Lúisa Massarani é jornalista especializada em ciência, doutora em Química Biológica e coordenadora do Centro de Estudos do Museu da Vida da Casa de Oswaldo Cruz/Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

cestudos@coc.fiocruz.br

Isabel Magalhães é arquiteta, analista de sistemas e integrante do projeto “Novas aplicações em biotecnologia: as representações na mídia e as percepções públicas” realizado pelo Centro de Estudos do Museu da Vida da Casa de Oswaldo Cruz/Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

cestudos@coc.fiocruz.br

Ideu de Castro Moreira é físico, doutor em Física e professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro e da Área Interdisciplinar de História da Ciência da Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

ildeu@if.ufrj.br

tos ligados a pesquisas nacionais, muitas vezes isto ocorre com tons nacionalistas exagerados, como pôde ser observado por ocasião do seqüenciamento da *Xylella*.

A grande imprensa brasileira, pelo menos nos jornais examinados, enfatiza o determinismo genético e, em grande parte, ignora ou minimiza o papel de fatores externos (ambientais, sociais, culturais etc.) sobre o desenvolvimento individual. As possíveis implicações decorrentes dessa visão não são discutidas e raramente são levadas em conta.

Ressalte-se que a análise da influência da mídia sobre a audiência é um tema complexo e que está a merecer estudos mais aprofundados. Não se segue dos resultados aqui apresentados que o público leitor brasileiro tenha as mesmas atitudes e percepções hegemônicas que estão presentes nas matérias desses grandes jornais. Pesquisas realizadas em outros países, ou aqui no Brasil, entre estudantes, mostram que sobre as atitudes do público incidem outros fatores igualmente ou eventualmente até mais poderosos, como a educação familiar, a formação escolar, a cultura local, as tradições religiosas etc.

O uso de artigos jornalísticos para apoio ao ensino formal, uma prática que se tem disseminado em muitas escolas, em programas que contam freqüentemente com o apoio e o interesse de grandes jornais, deveria ser analisado também à luz de como a cobertura jornalística da grande imprensa tem tratado os temas científicos, em particular aqueles referentes à biotecnologia moderna.

Neste trabalho não exploramos as diferenças entre os diversos jornais considerados. Isso deverá ser feito caso se queira produzir uma avaliação mais acurada de como a imprensa brasileira trata essas questões. Uma análise qualitativa mesmo superficial, no entanto, permite inferir a presença de diferenças significativas no tratamento dado ao tema pelos diversos jornais em questão.

Nosso estudo tem ainda caráter restrito, tanto no que se refere ao período de tempo como aos meios de comunicação analisados, mas já fornece alguns elementos de reflexão sobre a divulgação científica de temas ligados à genética moderna. A perspectiva acalentada pelos autores é de que tais estudos venham a contribuir para que a popularização desse domínio da ciência e da técnica se dê em bases menos fantasiosas, mais realistas e com maiores preocupações éticas.

A ESCOLA NA ERA DO DNA E DA GENÉTICA

Élgion L. S. Loreto
Lenira M. N. Sepel

*C*onhecer a estrutura do DNA e compreender o fluxo da informação genética permitiu o surgimento de novas tecnologias e mudou a visão que podemos ter de nós mesmos. Em que medida isso é verdadeiro? O quanto o novo conhecimento está sendo capaz de transformar nossas vidas sem perturbar concepções mais antigas? Que passos serão necessários para que sejamos senhores dessa tecnologia, ou o destino do cidadão é ser um usuário acrítico de produtos veiculados pela mídia? Diante dessas questões a escola, a comunidade científica e o poder público têm papel decisivo para a redução ou mesmo a eliminação do abismo entre ciência e cidadania, gerado, em boa parte, pelo vertiginoso processo de produção de novos conhecimentos e novas técnicas, próprio do mundo contemporâneo.

Que diferente compreensão de si mesmo pode ter o homem contemporâneo em relação àquela que podia ter os seus antepassados de não muito tempo atrás? Hoje temos conhecimento de que somos formados por trilhões de células, todas oriundas de uma única que, ao se multiplicar, fez réplicas da informação correspondente a algumas “normas” que rigorosamente seguimos para podermos ser quem somos. Não é essa uma afirmativa determinista, mas uma constatação simples de que nossa natureza biológica influencia todos os aspectos de nossa vida.

Algumas características são mais influenciadas pela constituição genética e outras menos. Nosso grupo sanguíneo, por exemplo, é totalmente determinado pelos genes, e não há hábito de vida ou fator ambiental que faça alguém mudar de A⁺ para O⁻ ou AB⁻. Já a altura é uma característica que poderia, pelo menos em parte, ser alterada pela alimentação, que disponibiliza maior ou menor quantidade de nutrientes necessários ao crescimento, ou pela administração de hormônios, que durante a infância e adolescência poderiam retardar ou acelerar o desenvolvimento. O quanto alguém é capaz de discursar sobre Kant, porém, depende em quase nada dos genes, está na dependência do quanto leu ou ouviu sobre Kant. Entretanto, mesmo nessa situação, temos de considerar que também os genes são fundamentais para construir um ser capaz de ler, ouvir, aprender e discursar. Os genes presentes nos cães, por exemplo, “constróem” seres que correm, latem, abanam a cauda mas não são capazes de ler.

É preciso ter uma visão clara da função que nossa natureza celular desempenha em nossa vida diária. Sob todos os aspectos, nosso cotidiano é produto da atividade das nossas células, da digestão dos alimentos aos nossos pensamentos e emoções. Essa natureza celular se reflete no procedimento que teremos frente a uma infecção, a uma gravidez, a um tumor ou, no supermercado, diante de um xampu contendo DNA de plantas. Entender como funcionamos é uma questão de cidadania e, nesse aspecto, vivemos numa época privilegiada, pois em nenhuma outra a compreensão e a capacidade de interferir no funcionamento do organismo humano foram tão grandes.

Sem dúvida, o que conduziu a essa nova concepção do ser humano sobre si mesmo foi o modelo para a molécula do DNA, formulado por Watson e Crick em 1953. Tal modelo explica como a informação pode ser transmitida de célula para célula, de pais para filhos e, ainda mais, a dupla hélice do DNA explica como a informação genética funciona, como pode transformar-se em ação.

O DNA tornou-se uma metáfora cultural, um meio de acessar (ou ao menos imaginar que se possa acessar) a criação da vida. Conforme essa metáfora, vida é informação, um texto que pode ser lido. Assim, segundo Nelkin e Anker¹, a Genética com seu crescimento vertiginoso nos últimos 50 anos promoveu uma reconceituação do corpo, transformando-o de estrutura morfológica em organização molecular, de organismo em texto, de carne e sangue em informação.

Ter uma visão contemporânea de como somos e como funcionamos é um direito de todo cidadão e entendemos que seja, também, uma obrigação do Estado. Somente de posse de um conhecimento atualizado podemos ser críticos em relação às informações que recebemos todos os dias. Poderemos assim decidir, por exemplo, se consumiremos ou não alimentos transgênicos, se usaremos ou não xampu com queratina ou se devemos ir a uma passeata para pedir leis rígidas contra exames de DNA feitos sem consentimento. Só o conhecimento sobre os processos biológicos poderá também remover do ideário popular algumas idéias de determinismo genético, referidas às vezes como “a ditadura do DNA” – a idéia de que tudo em nossas vidas já está escrito (e previsto) nos nossos cromossomos. É este determinismo que permite imaginar um clone como a réplica “da história de vida” de um ser. Recentemente, vimos tal manifestação popularizar-se mais ainda, através de uma telenovela – um clone que sabia para onde deveria viajar para encontrar sua amada, sabia inclusive o nome dela, pois estava tudo no DNA...

Como pode o cidadão se tornar crítico com relação ao conhecimento científico? Quais são as fontes de conhecimento disponíveis, onde estão as informações sobre a “Nova Biologia”² e a Biotecnologia?

Em pesquisa realizada junto a professores e alunos do Rio Grande do Sul e de Salvador, Andrade³ relata que aproximadamente 80% das pessoas se referiam à mídia como fonte principal de informação sobre biotecnologia, sendo a televisão a fonte mais citada. Quando questionados sobre o que entendiam por biotecnologia, parte considerável da amostra relacionou essa área com tecnologia anti-natural – “são os cientistas brincando de Deus”. É certo que a mídia desempenha um papel muito importante na divulgação desse conhecimento. Mas o que nos interessa abordar no momento é qual o papel da escola na divulgação da ciência e da tecnologia.

Silveira e Amabis⁴ realizaram interessante pesquisa, apresentando uma lista de seres para que alunos do ensino médio, que já haviam tido aulas de Genética, respondessem se esses seres possuíam células. A maior parte dos alunos

¹ NELKIN, D. & ANKER, S. The influence of genetics in contemporary art. *Nature Reviews Genetics*, 3(12):967-971, 2002.

² Tomamos a liberdade de chamar “Nova Biologia” todas as áreas das Ciências Biológicas que empregam métodos experimentais para compreender aspectos funcionais dos seres vivos no nível molecular, como a Biologia Molecular, Genética, Bioquímica, Imunologia. A “Nova Biologia” inclui também as áreas que estudam experimentalmente as relações dos seres vivos com o ambiente, mas as peculiaridades do ensino dessas áreas não farão parte da análise apresentada neste texto.

³ ANDRADE, J. A. P. *O ensino de ciências naturais e a biotecnologia: reflexões e representações*. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

⁴ SILVEIRA, R. V. M. & AMABIS, J. M. Os seres vivos possuem células? O que respondem os alunos do ensino médio após um curso de Genética. *Anais. Congresso Nacional de Genética*, 48, Águas de Lindóia, São Paulo, 2002. www.sbg.org.br

respondeu acertadamente em relação aos seres humanos. O percentual de acertos, porém, caiu bastante quando as respostas enfocavam outros seres, como por exemplo, decidir se uma laranja, uma laranjeira ou um diamante possuíam células ou não. O ensino médio, de forma geral, parece não estar dando conta de propiciar aos alunos a compreensão de conceitos básicos da teoria celular e também do “dogma central da biologia molecular”, ou seja, do fluxo da informação genética.

Apresentamos a seguir os resultados de uma pesquisa que realizamos com alunos do ensino médio com relação aos conceitos de DNA, fluxo de informação genética e também sobre a aplicação desses conceitos (figura 1). Fica evidente que apenas uma pequena parcela dos entrevistados tinha um conceito mais “acadêmico” de DNA, ligando este ao fluxo da informação genética. A maioria dos entrevistados associou a palavra DNA aos processos de investigação de paternidade ou aos exames para detecção de doenças. É óbvio que o ensino médio está falhando em possibilitar ao aluno a apropriação de um conceito mais claro sobre o DNA e, portanto, também sobre biotecnologia e temas correlatos.

⁵ As respostas foram agrupadas em seis classes (cujas frequências são representadas em %). Na primeira classe, os alunos manifestaram um conhecimento acadêmico, bem estruturado, do tipo “é o ácido desoxirribonucléico que é responsável pela transmissão das características hereditárias, que passam dos pais para os filhos”; na segunda classe reunimos aqueles que associavam o DNA ao código genético ou à herança, mas quando questionados sobre o que é o código genético, forneciam respostas vagas como: – “são as características das pessoas”; na terceira classe estão aqueles que associaram o termo DNA apenas com teste de paternidade ou de identificação de pessoas; em um quarto grupo estão reunidas as respostas que relacionam o DNA com exames de sangue para detectar doenças, principalmente a AIDS; o quinto grupo corresponde a outras idéias não enquadráveis nas classes anteriores; e o sexto grupo representa os que não tinham idéia alguma sobre o que é DNA. (N= 186 entrevistados)

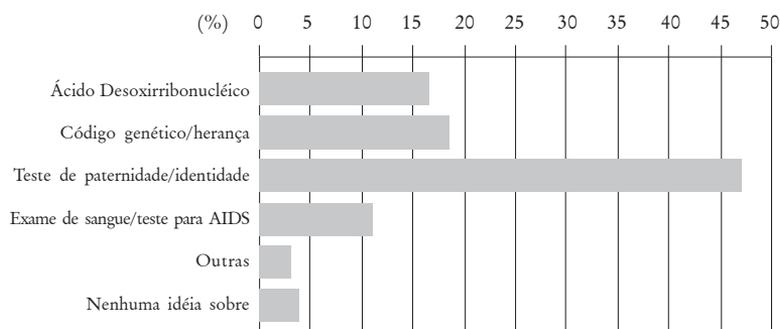


Figura 1: Principais idéias manifestadas por alunos do ensino médio de Santa Maria (Rio Grande do Sul), quando questionados sobre O que é DNA e qual sua importância?⁵

Formar alunos capazes de aplicar o conhecimento em situações concretas parece ser um desafio ainda maior para o ensino. Em nossa pesquisa, uma segunda pergunta, cuja resposta demandava uma aplicação concreta baseada nos conhecimentos sobre DNA, tornou evidente esta dificuldade. Questionamos se eles comeriam um alimento que informasse no rótulo “contém DNA”. Foi possível constatar que a maioria não iria consumir tal alimento ou não saberia o que fazer (figura 2). Apenas um pequeno percentual respondeu prontamente que “todo alimento contém DNA”. Ficou cla-

ro que há uma boa concordância entre apresentar uma conceituação “acadêmica” sobre DNA e a capacidade de aplicar corretamente esse conceito em uma situação concreta, ou seja, decidir sobre comer ou não alimentos com DNA.

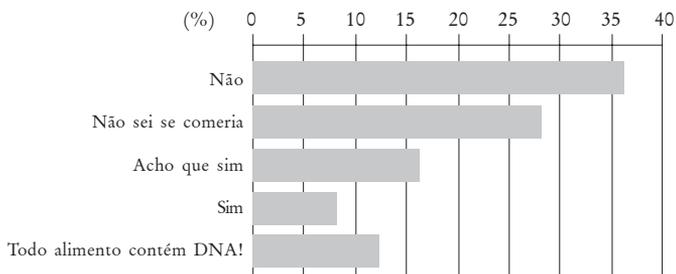


Figura 2: Respostas espontâneas de alunos do ensino médio de Santa Maria (Rio Grande do Sul) com relação à pergunta: – *Você comeria um alimento que diga no rótulo: “contém DNA”?*

Apesar da identificação da mídia como grande veículo para informação e atualização, é a escola, ainda, o local mais adequado para o aprendizado formal, sistematizado e ordenado de conhecimentos socialmente úteis. Por que estará a escola a descumprir com este papel? Muitas pesquisas têm sido feitas mostrando o insucesso da escola no ensino de Ciências. Sabemos que esse fracasso não está restrito ao Brasil. Os relatórios do programa PISA⁶, que avalia o ensino de Ciências e Matemática nos 32 países mais industrializados, mostram, no entanto, que os estudantes brasileiros apresentam os piores desempenhos. Assim, podemos pensar que a questão do ensino da Nova Biologia além de estar imersa na nossa deficiência generalizada em promover um ensino de qualidade, o que certamente é verdadeiro, também envolve problemas universais, que se manifestam nos países ricos.⁷

Os resultados insatisfatórios em relação ao ensino de Ciências provocaram, pelo menos nos países europeus, respostas de reação: dedicar um tratamento especial ao ensino de Biologia e principalmente atualizar os professores para o ensino da Nova Biologia.⁸ Em programa conjunto do Laboratório Europeu de Biologia Molecular (EMBL), da Organização Européia de Biologia Molecular (EMBO) e da Federação Européia de Biotecnologia (EFB), foi lançado um projeto denominado “Educação continuada para professores europeus de Biologia”, que tem como objetivo re-introduzir os professores no “estado-da-arte” das técnicas de pesquisas utilizados pela Nova Biologia.⁹

⁶ O programa PISA (Programme for International Student Assessment – www.pisa.oecd.org) é gerenciado por OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) e visa a fornecer uma avaliação sobre o desempenho dos alunos do ensino médio na resolução de problemas, empregando os conhecimentos de Matemática e Ciências. Os testes são realizados nos 32 países mais industrializados.

⁷ www.ncrel.org/sdrs/areas/issues/content/ntareas/science/sc200.htm
www.nap.edu/readingroom/books/nses/html/titleoverview.map

⁸ HABECK, M. Cutting-edge biology teaching. *The Scientist*. Daily News. February 12, 2003.

⁹ Science and Society at EMBL: www.embl-heidelberg.de/ExternalInfo/stefanss/; EMBL: www.embl.de/; EFB: www.efbweb.org/efb.htm

Entendemos que no Brasil também se faz necessária uma mobilização pelo ensino da Nova Biologia e que, em grande parte, os problemas identificados e as soluções podem ser os mesmos já apontados em vários relatórios internacionais resultantes de pesquisas e avaliações realizadas nos países desenvolvidos a partir da década de 80. Na nossa realidade, porém, os problemas tendem a ser mais complexos, mais interligados, e as soluções, às vezes, parecem distantes. Somam-se, em nosso caso, os problemas universais do ensino de Ciências com a falta de recursos e desigualdades sociais históricas.

Alguns dos principais problemas no ensino da Nova Biologia e caminhos de solução são apresentados resumidamente na figura 3. Um desses problemas diz respeito à velocidade com que os conhecimentos vêm sendo produzidos, o que praticamente impede que qualquer profissional do ramo esteja realmente “atualizado”. Os livros didáticos abordam uma quantidade grande de assuntos, os meios de comunicação anunciam todos os dias novas descobertas e, por fim, o professor acaba tendo dificuldade de discernir quais são os conceitos fundamentais a serem tratados.

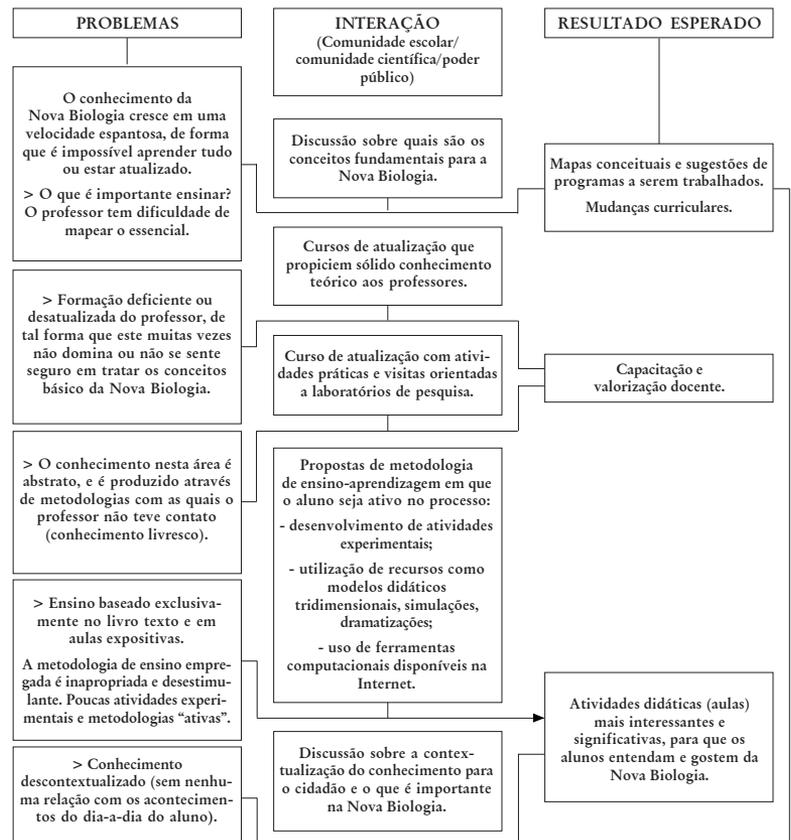


Figura 3: Problemas detectados no ensino de Biologia, propostas de atuação e resultados esperados

Uma formação deficiente de parte significativa dos professores do ensino médio, agrava a situação e aumenta a insegurança de tratar os temas da Nova Biologia. Na formação de professores de Biologia, temos ainda uma forte tradição da História Natural, que destaca muito as descrições e classificações morfo-anatômicas e a apresentação taxonômica da biodiversidade. Essa formação obtida na escola superior acaba se refletindo nas aulas do ensino médio e resulta em grande valorização da terminologia e da nomenclatura, fazendo com que o aluno associe Biologia com “muitos nomes a decorar”.

Ainda outros problemas, que seguramente atrapalham o ensino da Nova Biologia, podem ser arrolados. Um deles é o fato de o conhecimento nessa área ser abstrato porque, necessariamente, decorre de investigações realizadas nos níveis celular ou molecular. Outro fator é que, geralmente, a metodologia para a produção das informações é desconhecida pelo professor. Como explicar uma investigação de paternidade empregando o DNA sem ter nenhuma idéia de como os resultados são obtidos? Devemos considerar que para grande parte dos professores-biólogos, tanto do ensino médio quanto do ensino superior, a expressão que justifica essa situação é: “No meu tempo, isso não existia!”

Em cursos de atualização de professores do ensino médio, encontramos uma situação recorrente que reflete a defasagem entre a formação teórica e o domínio das metodologias de trabalho da Nova Biologia. Muitos pensam que “as pesquisas com DNA” são feitas com auxílio de microscópio eletrônico, através do qual a dupla hélice e os genes, com suas bases, seriam visíveis. A formação tradicional, baseada na concepção da História Natural, propiciada pela maioria dos cursos de Biologia que formam os professores de ensino médio, cria uma dificuldade adicional, pois não permite que seus alunos exercitem a compreensão e a imaginação na escala submicroscópica, em que ocorre a maioria dos fenômenos biológicos relacionados com o funcionamento dos organismos.

Inseguro com relação aos conceitos básicos e sem ter uma idéia clara de como se produzem os conhecimentos da Nova Biologia, o professor recorre ao uso do livro didático como o único recurso possível. Leitura do livro texto, questionários a responder, uma ou outra explicação ao quadro e o resultado final: aulas muito enfadonhas. Executa-se a fórmula perfeita para espantar todo o encanto que a Ciência poderia despertar num adolescente. Este encanto está na maneira experimental de questionar o mundo e de obter respostas satisfatórias para problemas reais. Atividades experimentais e metodologias ativas de ensino-aprendizagem são fundamentais

para o sucesso do ensino, mas não são tudo. É necessário também que o conhecimento seja contextualizado.

A informação tem que ter significado para a vida do aluno, e cabe ao professor tornar evidente onde, no cotidiano do aluno, está inserido o conteúdo estudado. Se isso não for possível, caberá perguntar, então, se esse conteúdo é importante, se ele deve mesmo estar presente em um currículo que tenha como objetivo “alfabetizar em Ciências” os cidadãos.

Entendemos que as soluções não estão circunscritas ao professor ou às instituições de ensino médio. Dada a complexidade do problema, faz-se necessário um verdadeiro mutirão. A comunidade científica precisa fazer parte dessa ação e os pesquisadores têm de assumir também esse papel social. Nesse momento, são as interações entre centros produtores de conhecimento e informação e instituições de ensino médio que podem resultar em soluções rápidas para questões urgentes, como por exemplo, mapear os conceitos fundamentais da Nova Biologia e dar contextualização para tais idéias. Também é necessário um esforço dos pesquisadores para traduzir suas metodologias de trabalho em linguagem acessível ao leigo. Neste aspecto enfatizamos que não basta uma simples visita a um laboratório para que o professor do ensino médio se atualize nas técnicas de pesquisa. Foi surpreendente constatar que um grupo de professores em visita a um laboratório de Biologia Molecular, após ter visto DNA em gel de agarose, revelava extrema “decepção”: “– Mas então é só aquilo?” Ver umas manchas fluorescentes, junto de uma explicação técnica não traduzida para que pudessem entender, em nada auxiliou aqueles professores na compreensão de como se produz conhecimento nesta área.

As atividades experimentais são importantíssimas para despertar o encanto pela ciência. A soma de esforços, entre pesquisadores especializados em algumas técnicas de laboratório e profissionais com um bom conhecimento da realidade do ensino médio, criaria condições para desenvolver atividades experimentais didáticas significativas e enriquecedoras para o ensino de Biologia. Isso não significa necessariamente implementação de laboratórios caros para execução de técnicas sofisticadas; muitas atividades podem ser executadas em sala de aula, dispensando até mesmo ambiente de laboratório.¹⁰

Ao poder público cabe, no nosso entender, propor e financiar atividades de interação entre instituições de ensino médio e professores, divulgadores da Ciência e pesquisadores. As sociedades científicas deveriam tomar parte desta empreitada, instigando o poder público a assumir seu papel histórico e estratégico na questão do ensino da Nova Biologia.

¹⁰ SEPEL, L. M. N. & LORETO, E. L. S. Isolation and visualization of nucleic acid with homemade apparatus – practical activities for secondary schools. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30(77): 306-308, 2002.

LORETO, E. L. S. & SEPEL, L. M. N. *Atividades experimentais e didáticas de Biologia Celular e Molecular*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2002. 71 p.

Élgion L. S. Loreto é biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular e professor do Departamento de Biologia do Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria.

elgion@base.ufsm.br

Lenira M. N. Sepel é bióloga, mestre em Genética e professora do Departamento de Biologia do Centro de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria.

lsepel@base.ufsm.br

O TERCEIRO EXCLUÍDO

Maurice Wilkins

Quando se pensa na elucidação da estrutura do DNA, dois nomes vêm à mente: James Watson e Francis Crick. Mas dois pesquisadores responsáveis por trabalhos experimentais que foram decisivos para essa descoberta são pouco lembrados: Rosalind Franklin e Maurice Wilkins.

Nascido na Nova Zelândia em 1916, Wilkins ganhou o Prêmio Nobel em 1962, juntamente com Watson e Crick, “por suas descobertas relacionadas à estrutura molecular dos ácidos nucléicos e seu significado para a transferência de informação em material vivo”.

Físico de formação, sua incursão pela área biomédica iniciou-se em 1945, na equipe de J. T. Randall na Universidade St. Andrews (Escócia). No ano seguinte, mudou-se para o King’s College, em Londres, onde até hoje mantém seu escritório – local em que foi realizada esta entrevista. Atualmente, dedica todo o seu tempo para escrever sua biografia.

Wilkins relata, aqui, como começou a se interessar pela cristalografia por difração de raios X, técnica que ele considerava inicialmente “maçante”. A decisiva influência que teve de Erwin Schrödinger e de Linus Pauling, o papel de Rosalind Franklin, com a qual mantinha um relação profissional tensa, e sua visita ao Rio às vésperas da “descoberta” também foram temas desta entrevista, concedida a Luisa Massarani.

C&A – *Como o senhor começou a se interessar pela difração de raios X?*

MW – Fiz trabalhos com difração de raios X [na universidade] em Cambridge, mas acho que o ensino ali não era muito bom. No King's nenhum de nós entendia o suficiente de cristalografia e, na realidade, eu não queria trabalhar com difração de raios X. Eu achava bem maçante. Mas, quando comecei a trabalhar com Raymond Gosling, um aluno de doutorado, os resultados da difração em estudos com DNA eram tão empolgantes, que eu quis trabalhar com a estrutura de genes. Neste sentido, um livro que teve muita influência nessa minha decisão foi escrito por Erwin Schrödinger e publicado em 1944. Chamava-se *O que é Vida? (What is Life?)* – que pergunta importante, não? Schrödinger não conseguiu responder a questão, mas ele realmente me deixou “ligado” quando disse que um gene deveria ser um cristal aperiódico. Antes da guerra, como aluno de doutorado de J. T. Randall, estudei luminescência e o comportamento de elétrons em cristais, onde há imperfeições. Quando o cristal é aquecido, os elétrons escapam de armadilhas e emitem radiação. Fiquei entusiasmado com os cristais que são, em essência, regulares e tridimensionais. A idéia era combinar a regularidade do cristal com suas imperfeições. Foi assim que interpretei o que Schrödinger disse. Mas só em 1950 consegui trabalhar com cristais de genes. Rudolf Signer, um suíço-alemão que produziu DNA altamente purificado, foi a Londres dar um seminário. Ele tinha amostras desse DNA muito especial, que continha moléculas intactas especialmente preparadas. E ele distribuiu tubos metálicos com essa “coisa” branca, em pequenos tubos. Fui à palestra e tive a sorte de conseguir um pouco do material.

C&A – *Qual o objetivo de sua visita ao Rio de Janeiro no início da década de 50?*

MW – Éramos parte de um grupo de cientistas de todo o mundo que queriam levar para o Brasil um novo tipo de biologia celular. A visita foi organizada por Carlos Chagas Filho, que achava que precisávamos iluminar um pouco as coisas. Eu estava envolvido com todos os tipos de microscopia. E, na ocasião, estava no meio de nosso trabalho usando difração de raios X para o estudo do DNA. Rosalind Franklin havia acabado de convocar uma reunião, comigo e meus colegas, para nos mostrar os dados que ela coletara que sugeriam que o DNA não poderia estar na forma de hélice. Logo em seguida, tive de fazer as malas bem rápido e pegar o avião para o Rio. Foi agradável poder escapar assim. Embora eu acreditasse que Rosalind estava sendo franca sobre o que dizia, algumas pessoas achavam que era tudo uma piada. É claro que não era uma piada, mas eu estava em uma situação difícil. Eu não gostava da idéia de o DNA não ter o formato de hélice.

C&A – *Como você recebeu a notícia de que Watson e Crick chegaram ao modelo da estrutura do DNA?*

MW – John Kendrew, que era meu amigo e de Watson e Crick, me telefonou e me deu uma breve descrição de como era o modelo que eles conceberam. Não fiquei muito surpreso. Olhando para trás, acho que o que eles conseguiram de muito especial foi conseguir entender como se estabelece o pareamento das bases. Watson e Crick tiveram muita sorte. Quando Jim [Watson] explicou como era o modelo inicial a Jerry Donahue [ex-aluno de Linus Pauling], este disse que ele estava errado. Jim consertou o erro e conseguiu chegar ao modelo certo.

C&A – *Como era a sua relação profissional com Watson e Crick?*

MW – Francis Crick era um velho amigo meu, eu o conhecia há muito tempo. Conheci Watson em Nápoles, como ele conta em seu livro. Eu não o convidei para vir para o nosso laboratório porque achei que precisávamos de alguém que tivesse experiência em difração de raios X, já que eu ainda não tinha usado essa técnica. É aí que Rosalind Franklin entra. Ela deveria se juntar a nós, para ajudar em nosso trabalho. Mas quando nomeada, foi dito a ela que Alex Stokes e eu estávamos desistindo do trabalho com DNA; ela e seu aluno seriam as duas únicas pessoas trabalhando com DNA. É claro, isto não era verdade.

C&A – *Qual a contribuição de Rosalind para a descoberta da estrutura do DNA?*

MW – Ela fez contribuições muito valiosas para a análise do DNA. Mas ficou mais feliz quando foi trabalhar com vírus com outra equipe, no Birkbeck College. Ela queria fazer o trabalho com o DNA com os procedimentos de difração de raios-X devidamente estabelecidos. Ela não aprovava o fato de que Stokes e eu estávamos entusiasmados com a nova abordagem de Linus Pauling, que construía modelos tridimensionais a partir das ligações entre moléculas e das imagens obtidas por difração. Na verdade, Rosalind também usou esses modelos depois que deixou nosso laboratório. Isto foi descoberto após a sua morte.

C&A – *Como o senhor, que foi personagem da fase inicial da nova genética, vê as novas linhas de pesquisa nesse campo, como o Projeto do Genoma Humano e os estudos com clonagem terapêutica?*

MW – Parece-me que os cientistas vão muito bem. Achei interessante ler no jornal que pesquisadores fazem pesquisas com células-tronco em humanos e que esperam poder curar o Mal de Alzheimer. Isto é incrível! Você conhece alguém que tenha Mal de Alzheimer? É muito triste! Acho que eu ainda não tenho mas minha irmã mais nova tem e bem grave. Será muito interessante se isso funcionar.

C&A – *Como vê um cientista que aceita trabalhar em armas biológicas?*

MW – Alguns cientistas têm uma visão muito estreita das coisas e têm uma fascinação pela ciência como tal. Mas é muito perigoso que as pessoas façam qualquer coisa na vida sem considerar quais podem ser as consequências em longo prazo.

C&A – *Mas o senhor próprio participou das atividades do Projeto Manhattan, não?*

MW – Sim. Eu trabalhava com separação, por espectrografia de massa, de isótopos de urânio para uso em bombas e fui para a Califórnia continuar esses estudos no Projeto Manhattan. Quando a guerra acabou, eu não quis continuar a trabalhar com armas. Quando eu era um estudante, em Cambridge, antes da guerra, havia o grupo de cientistas antiguerra que atuava muito bem e eu me juntei a esse grupo.

C&A – *O senhor foi durante muitos anos presidente da BSSRS (Sociedade Britânica para a Responsabilidade Social em Ciência), que foi bastante ativa na década de 70. Quais eram os objetivos dessa sociedade?*

MW – A sociedade buscava controlar o uso inapropriado da ciência e da tecnologia para fins repressivos – ou pelo menos protestar contra tal uso. Foi o caso de um movimento que se fez contra o uso de um gás desenvolvido com nova tecnologia numa tentativa de conter o conflito na Irlanda do Norte ou o uso de herbicidas no Vietnã. Havia um movimento também para se saber o que laboratórios britânicos estavam fazendo com relação a armamentos nucleares. O maior sucesso da BSSRS foi uma grande reunião realizada em Londres [em 1971] sobre os impactos sociais da biologia moderna, talvez o primeiro evento voltado para as questões éticas e sociais suscitadas pela genética moderna. Um dos temas em questão era o bebê de proveta. Os cientistas médicos que fizeram o bebê de proveta fizeram tudo muito cuidadosamente, o que foi um exemplo muito bom. A Sociedade durou mais de dez anos, mas, gradualmente, desapareceu. Ela foi substituída pela Sociedade para a Responsabilidade Global. Está certo, torná-la mais ampla.

C&A – *O senhor é casado com uma mulher que está no campo das artes. Como vê a relação entre arte e ciência?*

MW – Vou resumir dizendo que tenho muito interesse. A interação entre arte e ciência ajuda o cientista e o artista a terem uma mente mais aberta. Pessoas das duas culturas podem se entender melhor. Claro que as pessoas que não são cientistas nunca entenderão a ciência da mesma forma. A questão-chave é encontrar quais os aspectos da ciência que os artistas devem entender.

Luisa Massarani viajou ao Reino Unido a convite do British Council. Tradução de Christina Teixeira Rivas.

ESTARIA TUDO ESCRITO NOS GENES?

Steven Rose

É comum, nos dias de hoje, abrir as páginas de jornais diários ou de revistas científicas especializadas e ler sobre descobertas de genes associados a doenças ou características humanas físicas e mentais. Até mesmo o comportamento das pessoas muitas vezes é apresentado, por alguns cientistas, como intrinsecamente associado à constituição genética. Genes que determinam o homossexualismo e a inteligência, por exemplo, já foram supostamente identificados em várias ocasiões.

Mas há quem discorde disto. E entre as vozes discordantes um nome se destaca: Steven Rose, um neurocientista da Open University (Reino Unido), que, ao longo de anos, vem alertando para as conseqüências sociais dessa visão em que o determinismo genético prepondera.

Nesta entrevista concedida a Luisa Massarani, Rose fala sobre esse tema controverso. Sendo ele próprio um divulgador da ciência, Rose discute, ainda, a relação entre a mídia e a ciência, o papel do cientista na divulgação científica e o significado de uma profissão que ele considera “emergente”, o comunicador da ciência. Rose é autor de cerca de 30 livros, dedicados a diferentes audiências, desde a comunidade científica ao público geral não-especializado.

C&A – *Você pode explicar para o leitor não-especializado o que é determinismo genético?*

SR – Determinismo genético, nesse contexto, é a afirmação de que nosso comportamento como seres humanos é determinado pelo nosso passado proveniente da evolução e pelo nosso atual conjunto de genes. Há dois tipos de determinismo genético considerados no momento. Em um deles, afirma-se que as diferenças entre os indivíduos são geneticamente determinadas. Por exemplo, supõe-se que são os genes que determinam a escolha sexual, a religiosidade, o alcoolismo etc. Esses aspectos do comportamento humano seriam diferentes entre os indivíduos, porque eles teriam diferentes composições genéticas. O outro grupo de determinismo genético vem dos psicólogos evolucionistas. Estes não estão preocupados com as diferenças humanas, mas, sim, com universalidades humanas. Os psicólogos evolucionários afirmam que o comportamento humano foi estabelecido no que eles chamam a “Era da Adaptação Evolutiva”, na Idade da Pedra, e que se traduziu em nossos genes e, por meio destes, estabeleceu em nossas mentes, em nossa totalidade, certas formas de comportamento. Assim, os homens devem sempre preferir ter sexo com mulheres mais jovens; mulheres mais jovens sempre devem preferir ter sexo com homens mais velhos. Teríamos embutido em nós a competição, o amor pela grama verde em nossos jardins (por causa de nosso passado na savana) etc. Então, há esses dois modelos de determinismo genético: a genética comportamental e a psicologia evolucionista. Essas duas correntes competem entre si. Mas essa competição é como a competição entre os trotskystas e a ortodoxia comunista: ambos têm seu deus e o deus é o gene. Eles apenas têm uma maneira diferente de compreender como o gene funciona.

C&A – *Você vem apontando em seus textos que o determinismo genético muitas vezes é usado como uma desculpa para explicar a criminalidade. Um criminoso deixaria de ser responsável por seu crime, alegando “Não é minha culpa que eu tenha cometido determinado crime, está em meus genes”...*

SR – Exato. A questão importante é a natureza das sociedades que nós criamos, a natureza da responsabilidade humana dentro dessas sociedades. Voltando à década de 60 e ao início dos anos 70, um período de grande crença na possibilidade de reforma sexual na Europa Ocidental. Acreditava-se que seria possível criar uma sociedade infinitamente flexível e que a maneira pela qual as pessoas se comportavam estava invariavelmente moldada pelas pressões sociais sobre elas. Agora, com o colapso da fé de que é possível criar uma sociedade muito melhor que a que vivemos, vemos uma sociedade moldada por conflitos – étnicos, sexuais, de classe, de raça, de gênero etc. Afirma-se que as divisões e as desigualdades na sociedade são inevi-

táveis, porque são produto da natureza humana que, por sua vez, é determinada por nossos genes. Assim, queremos fazer um mundo melhor, mas não podemos, pois nossos genes não permitem. Isto serve como justificativa para as injustiças na sociedade contemporânea, mas serve também como um alívio para as pessoas no que se refere à responsabilidade individual. Se nosso comportamento é inteiramente determinado por nossos genes, logo nós não somos responsáveis por nossas ações. Richard Dawkins, por exemplo, fala em gene egoísta; ele diz que seríamos apenas programados para garantir a cópia de nossos genes para a próxima geração. Nessa linha se poderia argumentar que um estupro seria uma estratégia sexual usada por homens sexualmente incompetentes para dar a seus genes uma garantia de continuidade. O estupro seria determinado pelos genes. Assim, o estupro seria culpa dos genes e não culpa da pessoa que o cometeu.

C&A – *Então, em sua opinião, qual seria o papel dos genes por exemplo em um ser humano?*

SR – Temos de entender que – estou agora falando como biólogo – coisas muito estranhas aconteceram na biologia nos últimos 30, 40 anos. Não estamos mais interessados, como biólogos, em criaturas vivas, mas apenas em genes. De alguma maneira o organismo desapareceu. Ele simplesmente se tornou uma ferramenta para o biólogo molecular e o geneticista molecular entenderem o funcionamento dos genes. Veja a definição de evolução. A variação evolutiva é definida como a velocidade de variação na frequência genética em uma população. Não importa em que organismo estamos pensando. Agora, fala-se apenas em termos evolucionistas de genes. Penso que esta é uma maneira bastante inadequada de entender a relação entre um pedaço de DNA, sua expressão em uma célula e os processos de desenvolvimento em termos biológicos em seu conjunto. Como biólogo, vejo a relação entre um gene e o resto da célula não como uma molécula mestre do que está ocorrendo na célula mas, sim, como uma dança complexa das relações entre pedaços de DNA, proteínas e os vários mecanismos que as controlam e as regulam. Não é que você pode entender a célula como um grupo de jazz, como o trabalho de uma orquestra, com um maestro ou algo desse tipo. Essas partes todas desempenham um papel umas em relação às outras, isto é, sem a célula, o DNA é uma molécula extremamente monótona. É a célula que dá vida ao DNA. Assim, na velha discussão “quem vem primeiro, o ovo ou a galinha?”, para mim a resposta é: a célula da galinha vem antes do ovo, com o DNA. Porque sem a célula, o DNA não poderia existir. Agora, uma questão para os biólogos – que eu exploraria de maneira muito cuidadosa – está relacionada ao papel dos genes no comportamento humano. Evidentemente, os genes são muito importantes para a compreensão de quem somos e como chegamos aqui. Se queremos entender a humanidade,

temos de entender a nós mesmos simultaneamente com todos os organismos e colocados em um contexto social e tecnológico. Assim, nossa tarefa é tentar colocar todas essas coisas juntas para obter algo como uma espécie de cultura biossocial apropriada. Para algumas finalidades, precisamos entender os genes. É o caso, por exemplo, da distrofia muscular. Se queremos entender a questão acadêmica existencial de uma pessoa ser esquizofrênica ou de estar tratando de alguém que sofre de mal de Alzheimer, não nos ajuda muito entender os genes. Nossa compreensão deve estar em um nível diferente. E a pergunta científica adequada que precisa ser feita é: “Em que nível uma descoberta irá responder uma questão específica?” Algumas questões relacionadas aos genes são importantes, mas outras são totalmente irrelevantes.

C&A – *Como vê o tratamento que a mídia dá a temas relacionados aos genes?*

SR – Geralmente ela o faz de uma forma muito estúpida. Quando, por exemplo, foi anunciado o primeiro rascunho do genoma humano, os jornais disseram: Esta é a maior descoberta desde a invenção da roda; toda a vida está ali; este é o código dos códigos, o livro da vida etc. Cada vez que abre um jornal, você lê que foi descoberto um gene para isto ou aquilo. Obviamente, esta não é a maneira de entender a relação entre os genes e o comportamento que eu considero – e outros cientistas – adequada. Mas não acho que a culpa seja apenas dos jornalistas. Os jornais no Reino Unido, nos Estados Unidos e certamente também no Brasil são um reflexo dos periódicos científicos, das universidades e dos próprios cientistas que estão trabalhando como se trabalhassem em uma mega-empresa. A ciência no mundo contemporâneo é muito competitiva, demanda publicidade e é muito comercial. Os cientistas estão tratando pequenas partes da ciência de maneira exagerada, o que se reflete na mídia e nas notícias.

C&A – *E as notícias relacionadas à ciência de uma maneira geral?*

SR – Posso falar apenas do caso na Grã-Bretanha, onde é complexa a forma como a nossa mídia lida com a ciência. Por um lado, há um respeito excessivo da mídia em relação aos cientistas. Por outro, há uma crescente falta de confiança na ciência. O pânico no Reino Unido em relação aos alimentos e plantações geneticamente modificadas e de outras coisas e a nossa própria história de manipulação leva a uma relação muito complicada entre a mídia e a ciência. Por um lado, a mídia é bastante vulgar e os cientistas são homens sujos, trapaceiros, que fazem coisas malucas que ninguém pode entender muito bem nem achar graça. Eles fazem algo que é perigoso e só Deus sabe se estão fazendo algo que vai se tornar um grande desastre como decorrência de seu trabalho. Alternativamente, eles são vistos como aqueles que transformam o mundo, curam doenças... Mas todas essas tendências vêm embaladas em um tipo muito complicado de relação.

Há a questão da confiança. Por que devemos confiar nos cientistas? Que tipo de *expertise* o cientista tem? Que tipos de interesses os cientistas têm? Teriam eles interesses financeiros para fazer determinadas declarações? Há, ainda, a questão de que a ciência não lida com a certeza, mas, sim, com a incerteza. Mas a imprensa quer “certezas”. Há áreas em que não podemos fazer projeções, por exemplo no caso do mal da vaca louca. Podemos especular sobre riscos, mas ainda não sabemos ao certo. E, ainda, há a questão do público que acredita que há um conhecimento bem definido e certo. Viver na incerteza é extremamente problemático. Há muitas áreas da ciência nas quais o público e os cientistas precisam chegar a um acordo, em que a mídia também precisa chegar a um acordo. São áreas da ciência importantes, mas envolvidas em grandes controvérsias, por exemplo na área do determinismo genético, sobre a qual você me fez algumas perguntas. Se você entrevistar cientistas como Richard Dawkins ou outros psicólogos evolucionistas, eles vão lhe dar respostas diferentes das minhas às suas questões, afirmando “Evidentemente, eu estou certo”. O público – os não-cientistas – normalmente espera que a ciência fale com uma única voz. Mas não é isto que ocorre na ciência. Muitas áreas são extremamente controversas e as idéias estão submetidas a um intenso debate. Por fim, em uma ciência há muitas ciências. Para mim, o mundo do físico ou do cosmólogo é um mundo muito estranho. Perante eles, faço parte do público não-especializado, da mesma forma que eles o fazem quando estão diante do meu mundo na neurologia. Há a tendência de se falar em ciência usando um “C” maiúsculo, como se fosse uma coisa única. Isto não ocorre apenas porque há descobertas que são muito diferentes; a forma de questionar, a forma de realizar um experimento, o tipo de coisa que você considera como evidência ou prova, tudo isto é profundamente diferente em uma ciência como a cosmologia, em comparação com uma ciência como a neurologia.

C&A – *Qual o papel do cientista na divulgação científica?*

SR – É um papel que vem mudando em muitos sentidos. Sou um pedagogo e um professor. Tenho sido professor universitário por mais de 30 anos e se imaginava, evidentemente, que eu tivesse que ensinar ciência a pessoas sem qualquer qualificação na área de ciência. Assumi um compromisso que é o seguinte: todo cientista deve ser capaz de explicar o que ele está fazendo e o porquê de estar fazendo. Se ele não pode fazer isto, se ele não pode responder às questões que estão sendo feitas, então ele não pode fazer ciência. Evidentemente, muitos cientistas não fazem isto. Mas muitas coisas aconteceram nos últimos 15, 20 anos. Há um número crescente de pessoas com uma profissão inteiramente nova: são os comunicadores da ciência. Eventualmente alguns deles até têm um diploma universitário na área da ciência, mas eles profissionalmente estão na área da

ciência mais como jornalistas científicos. A revista *New Scientist* é um bom exemplo. Quando ela começou – creio que foi na década de 50 –, os artigos eram, em grande maioria, escritos por cientistas que trabalhavam em laboratório, pesquisadores que falavam de seu próprio trabalho. Não é mais assim que acontece. Agora, a maioria dos artigos é escrita por profissionais que se especializaram em escrever textos sobre questões científicas. Fazem entrevistas com cientistas, fazem questões a outros cientistas ou até mesmo recebem um texto escrito por um cientista e o reescrevem a sua própria maneira. Desta forma, a comunicação direta entre o pesquisador e o público é agora mediada por esse novo grupo de comunicadores da ciência. Há uma justificativa para isto, já que comunicar para o público geral é uma tarefa árdua para o cientista. Mas, por outro lado, há uma certa perda nesse tipo de comunicação. Por definição, a profissão de comunicador da ciência é muito difícil. Veja sob este ponto de vista: se você lê no jornal uma crítica de uma peça teatral ou de uma obra de arte, os jornalistas apresentam seu ponto de vista sobre aquela peça ou obra de arte. Podem dizer que é um horror ou excelente, elogiar a atuação, por exemplo, e, no final, eles dão uma nota em uma escala de estrelas do tipo “imperdível”, “ruim” etc. Mas os comunicadores da ciência não fazem isto. Eles não dizem “esta ciência ruim” ou “esta ciência é boa”. Eles simplesmente atuam como uma correia de transmissão, levando para o público o que o cientista diz. Não é uma análise crítica do que está acontecendo. Acho que, para a comunicação em ciência crescer e se tornar uma disciplina técnica de fato, é preciso desenvolver uma abordagem crítica da ciência.

C&A – *Mas você não acha que devemos manter diferentes abordagens da ciência? Por exemplo, uma abordagem feita do ponto de vista do cientista, outra feita por comunicadores da ciência, entre outras?*

SR – Sim, de fato isto deve existir. Particularmente na Inglaterra, há atualmente um grande número de livros sobre ciência dedicados ao público não-especializado escritos pelos próprios cientistas. Meus próprios livros são um exemplo disto. O que é interessante é que muitos desses livros vendem muito bem, são *best-sellers*. Há uma imensa fome popular por livros desse tipo. E muitos cientistas se tornaram eficientes comunicadores de seu próprio trabalho. Isto é algo muito novo. Muitos desses livros não são livros didáticos, mas, sim, trazem um conjunto grande de idéias e argumentos para defender essas idéias. O que, há 50 anos, estaria sendo veiculado apenas no âmbito de artigos científicos, hoje está sendo colocado em arena pública muito mais ampla. Veja o caso de Richard Dawkins e o meu. Por conta dos livros que escrevemos, nossas divergências científicas estão sendo colocadas tanto em debates científicos como para audiências gerais.



Preservação ambiental. Uma idéia que a Stihl faz questão de cultivar.



priorizando também o uso de matérias-primas recicláveis. Para colher um futuro melhor, a

Preservar a natureza é um dos maiores desafios do homem. A Stihl cultiva esta idéia desenvolvendo motores com baixa emissão de gases poluentes,

Stihl incentiva o corte seletivo de árvores e apóia projetos na área de pesquisa e preservação ambiental. Stihl. Há 30 anos a marca de confiança dos profissionais.

Andreas Stihl Moto-Serras Ltda.
www.stihl.com.br

0800 707 5001

STIHL®