

A CONSTRUÇÃO COLETIVA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO SOBRE A ESTRUTURA DO DNA¹

The collective scientific knowledge production on the DNA structure

Neusa Maria John Scheid²
Nadir Ferrari³
Demétrio Delizoicov⁴

Resumo: Neste artigo, a epistemologia de Ludwik Fleck é utilizada na interpretação de relatos sobre a evolução do conhecimento científico que culminou na proposição do modelo de dupla hélice para a molécula de DNA e sua aceitação pela comunidade científica. A compreensão dos coletivos de pensamento e dos estilos de pensamento envolvidos nesse processo permite explorar uma visão mais adequada da produção do conhecimento científico, contribuindo para a melhoria da educação científica de professores de biologia e de ciências.

Unitermos: ensino de Genética, História da Ciência, Ludwik Fleck.

Abstract: In this article the epistemology of Ludwik Fleck is used in the interpretation of works on the evolution of the scientific knowledge leading to the proposition of the double helix model for the molecule of DNA and its acceptance by the scientific community. Understanding the role of collectives of thought and styles of thought involved in this process allows the exploitation of a more adequate vision of the production of scientific knowledge, contributing to the improvement of science teachers' scientific education.

Keywords: Genetics education, History of Science, Ludwik Fleck.

Introdução

A sociedade contemporânea clama por uma educação científica que atenda às exigências decorrentes do estado atual do conhecimento científico e suas aplicações, especialmente na área da genética. Diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de verificar quais conhecimentos e qual compreensão têm os jovens sobre a genética no final dos anos de escolaridade obrigatória e como eles percebem as questões que têm sido suscitadas pela aplicação das novas tecnologias genéticas em diversos contextos (BUGALLO RODRIGUEZ, 1995; WOOD; LEWIS; LEACH; DRIVER, 1998; LEWIS; WOOD-ROBINSON, 2000, entre outros). Os resultados obtidos são preocupantes, pois revelam que, muitas vezes, nem mesmo os conceitos básicos de genética são compreendidos.

Igualmente, as pesquisas que buscam identificar as dificuldades encontradas pelos professores, tanto no início de seu trabalho docente, durante a formação inicial, quanto no decorrer de sua carreira, apontam como problemáticas as questões relacionadas com o ensino da genética e suas tecnologias (JUSTINA; FERRARI; ROSA, 2000; SCHEID, 2001).

¹ Uma versão preliminar deste trabalho foi apresentada no IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru-SP, 25 a 29 de novembro de 2003.

² Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Santo Ângelo, RS, e Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, SC. E-mail: scheid@via-rs.net.

³ NUEG/BEG/CCB e PPGECT/UFSC

⁴ MEN e PPGECT/UFSC.

Estas constatações conduzem a uma reflexão sobre o processo de formação dos professores de ciências biológicas. Possivelmente, um dos entraves no processo ensino-aprendizagem está na visão positivista de ciência, ainda muito presente, que impõe uma racionalidade técnica que torna o professor responsável pela detenção de verdades descobertas, que transmite aos seus alunos como prontas, acabadas, inquestionáveis. A História da Ciência, inserida na educação científica, poderá oportunizar um caminho de orientação aos alunos na apropriação de uma concepção de ciência como atividade humana, construída na interação entre o sujeito cognoscente, o objeto a conhecer e o “estado do conhecimento” (FLECK, 1986). Desse modo, como enfatiza Leite (2004), o professor pode atuar como mediador entre os historiadores da ciência e os estudantes ao utilizar a História da Ciência como estratégia para problematizar concepções de ciência e conteúdos de ciências.

O presente trabalho utiliza a concepção epistemológica de Ludwik Fleck na interpretação dos relatos sobre a evolução do conhecimento científico que culminou na proposição do modelo de dupla hélice para a molécula de DNA e sua aceitação pela comunidade científica. Acredita-se que essa compreensão deverá permitir a exploração de uma visão mais adequada sobre a natureza do conhecimento científico e poderá contribuir para a melhoria da educação científica, especialmente na formação de professores de ciências biológicas. Cabe ressaltar, no entanto, que o trabalho não é um trabalho de historiador e que a maioria das fontes utilizadas na interpretação epistemológica foram secundárias, baseadas na interpretação dos fatos históricos, feita pelos autores consultados. Desse modo, poderão surgir revisões demonstrando o dinamismo da própria História da Ciência, que também precisa ser revisada, considerando-se que:

A utilização de novas fontes, bem como um melhor uso das fontes e o surgimento de novas técnicas de pesquisa, deve levar a descrições históricas melhores, abordando aspectos que não eram conhecidos anteriormente. (MARTINS, 2000, p. 46)

A partir desta análise epistemológica da proposição do modelo da estrutura do DNA baseada em algumas categorias da teoria de conhecimento de Ludwik Fleck (1896-1961), pretende-se explicitar aspectos da produção e evolução do conhecimento científico. Este autor, além de atuar na área médica como clínico e pesquisador nas áreas de bacteriologia, microbiologia e imunologia, manteve uma produção importante no campo da epistemologia (DA ROS, 2000; DELIZOICOV *et al.* 2002; PFUETZENREITER, 2003) e tem sido usado recentemente, no Brasil, como referência, em trabalhos sobre História e Filosofia da Ciência (CASTILHO; DELIZOICOV, 1999; LEITE; FERRARI; DELIZOICOV, 2001; SCHEID; DELIZOICOV; FERRARI, 2003).

Fazendo considerações sobre as compreensões e práticas estabelecidas pela ciência médica, Fleck introduz os conceitos de estilo de pensamento e coletivo de pensamento, afirmando que o ato de conhecer é uma atividade que está ligada aos condicionantes sociais e culturais do sujeito pertencente a um coletivo de pensamento. Este coletivo pode ser entendido como uma comunidade de indivíduos que compartilham práticas, concepções, tradições e normas. Cada coletivo de pensamento possui uma maneira singular de ver o objeto do conhecimento e de relacionar-se com ele, determinada pelo estilo de pensamento que possui. Os coletivos de pensamento estratificam-se em círculos: o *exotérico* e o *esotérico*. O primeiro é entendido como sendo constituído pelos indivíduos que, de uma ou outra forma, consomem o conhecimento produzido pelo segundo. Considerando que os indivíduos podem pertencer, simultaneamente, a inúmeros círculos exotéricos e esotéricos, Fleck (1986, p. 154) propõe um

modelo de circulação de idéias, ao afirmar que “a complexa estrutura da sociedade moderna leva consigo que os coletivos de pensamento se interseccionem e inter-relacionem de formas diversas, tanto temporal quanto espacialmente”.

O modelo de dupla hélice, atualmente aceito para descrever a estrutura da molécula de DNA, é atribuído a James Watson e Francis Crick, por sua publicação na Revista *Nature*, de 25 de abril de 1953. Hoje, passados mais de cinquenta anos desde esta publicação, muito já se escreveu sobre a história desse fato científico em livros e artigos. Eles incluem desde o *best-seller* de 1968, de James Watson, *A Dupla Hélice*, até livros mais recentes como *The Path to the Double Helix: the Discovery of DNA*, de Robert Olby (1994); *Crick, Watson and DNA*, de Paul Strathern (2001); *História da Biologia Molecular*, de Rudolf Hausmann (2002); *Watson e Crick, a História da Descoberta do DNA*, de Ricardo Ferreira (2003), além de algumas centenas de artigos em revistas especializadas ou de divulgação científica, como, por exemplo, a *Nature*, a *Science*, a *Ciência Hoje*, entre outras.

Estes trabalhos historiográficos, alguns deles de autores que acompanharam pessoalmente o desenvolvimento da biologia molecular, revelam a participação de muitos pesquisadores na construção desse fato científico. Revelam também que, embora os eventos tenham sido cruciais para a biologia, eles envolveram muitos físicos e químicos. Watson (1968) e Hausmann (2002) comentam que o grande fator que levou físicos a desenvolver um interesse em biologia foi a leitura do livro *What is Life?* (O que é Vida?), escrito pelo físico teórico Erwin Schrödinger, em 1944. Muitos biólogos, químicos e físicos que leram o livro se encantaram com as especulações de Schrödinger a respeito da natureza química do gene, chamado por ele de sólido aperiódico.

Ao buscar, na literatura, artigos sobre a história da biologia molecular, percebe-se que, embora a publicação da estrutura do DNA tenha ocorrido em 1953, as evidências do DNA como material responsável pela informação genética surgiram muito antes. Em meados da década de 1880, já se falava no núcleo como sede da hereditariedade e que a cromatina (ou cromossomos) constituía o material genético (MAYR, 1998). Foram anos de trabalho complexo e, como afirma Darcy Fontoura de Almeida (2003, p. 9, paginação eletrônica), “são múltiplos os atores principais, há vários coadjuvantes com papéis iniciais, e o final resulta do somatório de qualidades, conhecimentos, acasos, experimentos, poder, paixão, para citar apenas alguns fatores”, que culminaram num evento crucial para a ciência contemporânea.

A construção coletiva do conhecimento em biologia molecular

O termo biologia molecular foi proposto por Warren Weaver, da Fundação Rockefeller, em um relatório publicado na revista *Science*, de 1938, para descrever como os fenômenos biológicos podem ser compreendidos fundamentalmente pelo conhecimento das estruturas das moléculas e das interações e das alterações destas. Gradualmente foi sendo utilizado para designar mais especificamente as pesquisas relacionadas aos genes, mas apenas em 1953 é que se percebeu de forma dramática esta correlação estrutura-função, com a proposição da dupla hélice (WEAVER, 1970; NOUVEL, 2001; MENEGHINI, 2003).

Entretanto, como já foi mencionado na introdução, desde a década de 1880 havia a idéia de que o núcleo poderia ser a sede da hereditariedade, de que a cromatina (ou cromossomos) constituía o material genético e, mais tarde, de que os genes poderiam ser moléculas, apesar de não existir um consenso dentro da comunidade científica a respeito.

Em 1869, quando ainda não havia antibióticos e as infecções hospitalares eram muito comuns, o médico, fisiólogo e químico orgânico suíço Friedrich Miescher (1844-1895),

trabalhando com células purulentas, extraiu uma substância que hoje conhecemos como sendo o DNA, e chamou-a de nucleína. A síntese desse seu trabalho com DNA foi publicada em 1871. Ele, contudo, nunca encarou a nucleína como portadora de informação genética, e seu trabalho foi pouco relevante no meio científico da época, que via as proteínas como as únicas moléculas com a complexidade estrutural necessária ao material genético (OLBY, 1994; MAYR, 1998; HAUSMANN, 2002).

A partir da perspectiva histórico-epistemológica de Fleck e dos relatos de historiadores da biologia, poderíamos considerar que o estado do conhecimento da época permitia considerar as proteínas como candidatas mais prováveis ao papel de portadoras do material genético porque se pensava que a estrutura do DNA era simples. Os conhecimentos disponíveis até então, indicavam que as proteínas eram mais complexas estruturalmente que o DNA. Foi esse estado do conhecimento, na época, que imprimiu na personalidade dos cientistas um estilo de pensamento, isto é, uma determinada abordagem para a busca de soluções dos problemas. Esse estado do conhecimento pode ter sido o responsável pela desmotivação dos pesquisadores para buscar entender como o DNA poderia ser a molécula portadora dos genes.

Para Fleck (1986), quando a teoria dominante ou estilo de pensamento está devidamente instaurado, passa por um período clássico constituindo a “harmonia das ilusões” e, nesta fase, só se observam fatos que se encaixam perfeitamente na teoria dominante.

Os relatos de Hausmann (2002) e de Mayr (1998) parecem indicar que, talvez devido à sua formação, Miescher se dedicou mais a questões fisiológicas ou puramente químicas do que a questões genéticas. Conforme Mayr (1998, p. 903), ele declarou em 1872 que seu desejo era ocupar-se com “os aspectos fisiológicos da nucleína, sua distribuição, sua associação química, seu aparecimento ou desaparecimento no corpo, sua transformação”. Isso, de acordo com Fleck (1986), reflete uma das etapas do desenvolvimento do estilo de pensamento, que é o ver formativo direto e desenvolvido. Os iniciantes em um coletivo são preparados, treinados, doutrinados a olhar o “mundo”, elaborar problemas e buscar respostas em sintonia com o estilo de pensamento inserido em um determinado coletivo de pensamento. Este processo determina que ao “olhar” para o objeto, o membro de um coletivo apresente um estilo de pensamento que orienta sua prática e guia o que observar, o que olhar e como olhar.

Miescher, inserido num contexto histórico-cultural, mediado por um estilo de pensamento, contribuiu com o impulso inicial para o entendimento da biologia molecular. No entanto, pode-se inferir que se o conhecimento sobre a natureza química do material genético não avançou mais rapidamente após os trabalhos de Miescher, foi porque a comunidade científica partilhava de um estilo de pensamento que a levava a acreditar que a nucleína, extraída apenas do núcleo das células, era uma substância simples demais para dar conta da arquitetura incrivelmente complexa do material genético. De acordo com Mayr (1998, p. 907), no final da década de 1880, “os citologistas já haviam dado todas as contribuições possíveis, permitidas pelos seus métodos”. Para eles, a cromatina – que já sabiam consistir-se basicamente de DNA – satisfazia todas as exigências do material genético. Mas, como não se preocupavam com a natureza química e com o tamanho da substância, eles não perceberam que o papel do DNA, na hereditariedade, jamais poderia ser compreendido se não fosse entendida a sua estrutura. Desse modo, por muitos anos a questão da natureza do DNA passou a ser assunto da química. Foram muitos os pesquisadores envolvidos nessa tarefa, e foi apenas por volta de 1930 que se obteve o conhecimento de que todas as células dos animais e das plantas possuíam tanto o DNA como o RNA, mas com idéias ainda muito vagas sobre o papel dessas substâncias nas células.

As bases nitrogenadas – citosina, guanina, adenina e timina – haviam sido identificadas, na virada do século, por Albrecht Kossel (1853-1927) (OLBY, 1994). Como as primeiras

análises foram feitas apenas em DNA de vertebrados, a idéia que predominava era, segundo o modelo proposto por Phoebus Aaron Levene (1869-1940), de que o DNA era uma molécula relativamente pequena, com uma estrutura longitudinal, constituída por um eixo de desoxirribose e fósforo, ao qual as bases nitrogenadas se conectavam (OLBY, 1994; MAYR, 1998). A idéia corrente naquela época sugeria que a informação genética deveria ser transportada por quantidades diferentes de cada base. Mas Levene indicou que o DNA sempre continha quantidades iguais das quatro bases e possuía, portanto, uma estrutura muito simples.

Um passo significativo foi dado quando, em 1944, Erwin Schrödinger, um dos pioneiros da mecânica quântica, sugeriu em seu livro *What is Life?* que os genes seriam “cristais aperiódicos”. Esses cristais aperiódicos seriam formados por arranjos de diferentes elementos isômeros, o que atualmente poderia ser chamado de blocos de construção ou nucleotídeos, em cujas variadas seqüências seriam codificadas as diferentes informações genéticas. Para ele, o comportamento da matéria viva, embora obedecendo às conhecidas leis da química e da física, é ditado por outros fenômenos físicos ainda desconhecidos (SCHRÖDINGER, 1997).

Quando o conhecimento sobre a composição química do DNA se ampliou, entre os anos de 1930 e 1940, formou-se o conceito de macromoléculas polimerizadas, ocorreu uma complicação no estilo de pensamento vigente. Passaram a ser empregados os métodos que as grandes moléculas exigiam (centrifugação, filtração, absorção de luz, entre outros) e as moléculas de DNA, para grande surpresa de todos, revelaram-se significativamente maiores em relação às primeiras estimativas. E, sendo elas de fato bem maiores que as proteínas, afastavam completamente a principal objeção contra a teoria do DNA como portador da informação genética (MAYR, 1998).

Paralelamente ao surgimento da complicação no sistema de idéias, aconteceram os experimentos com pneumococos, por Frederick Griffith (1877-1941). Trabalhando com duas cepas destas bactérias – uma patogênica e outra não-patogênica – ele observou que havia uma substância capaz de transformar as bactérias não-patogênicas em patogênicas. Avery, MacLeod e McCarthy, que trabalhavam no Instituto Rockefeller, em Nova Iorque, chamaram a substância encontrada por Griffith de “princípio transformador”, e utilizando a mesma técnica básica de Griffith, propuseram que o DNA seria a classe de moléculas responsáveis pela expressão de patogenicidade (MAYR, 1998; STRATHERN, 2001).

Embora se leia, em alguns livros de genética, informações como a seguinte: “A demonstração de que o DNA é o princípio transformante foi a primeira demonstração de que os genes são compostos de DNA” (GRIFFITH *et al.*, 1998, p. 294), verificamos, na narrativa de historiadores da biologia, que a idéia do DNA como material genético só foi aceita pela maioria da comunidade científica bem depois disso.

A teoria tetranucleotídica, na qual ainda se acreditava intensamente, continha a idéia de que o DNA constituía-se de uma molécula sem complexidade suficiente para ser o material genético. Além disso, as bactérias não eram aceitas por toda a comunidade científica como sendo geneticamente comparáveis aos outros seres vivos, dando origem à suspeita de que o “princípio transformador” poderia ser algo exclusivo desses seres primitivos. Mesmo assim, a publicação dos resultados de Avery ocasionou uma grande demanda de pesquisas sobre ácidos nucléicos (MAYR, 1998; HAUSMANN, 2002).

Medindo o conteúdo das bases do DNA de quatro espécies diferentes – timo de bezerros, baço de carneiros, fermento e bacilo da tuberculose – Erwin Chargaff, em 1949, concluiu que em qualquer espécie a quantidade de adenina (A) é muito semelhante à de timina (T), e da mesma maneira a quantidade de guanina (G) é semelhante à da citosina (C), estabelecendo a chamada regra de Chargaff (OLBY, 1994). Com essa regra, foi refutada decisivamente a

hipótese tetranucleotídica de Levene, segundo a qual todas as bases ocorriam em igual frequência. Essa refutação é considerada por Darcy Fontoura de Almeida (2003) como um passo decisivo na busca do entendimento da estrutura do DNA.

No início da década de 1950, vários cientistas, das mais diversas especialidades – virologistas, físicos, químicos e biólogos moleculares, entre outros – estavam interessados em DNA. Hausmann (2002) cita a importância que tiveram os cursos de verão no Cold Spring Harbor, nos Estados Unidos, a partir de 1945, quando se reuniu pela primeira vez um pequeno grupo de pesquisadores de fagos, interessados na auto-replicação no nível viral. Esses cursos repetiram-se por mais de duas décadas e, segundo o autor, traduziam para a prática as teorias expressas no livro *What is Life?*, desempenhando um papel essencial no começo da biologia molecular.

Para compreender como o DNA poderia ser a molécula responsável pela hereditariedade, era preciso entender a sua estrutura. Desde a hipótese tetranucleotídica de Levene, acreditava-se que o DNA deveria possuir uma estrutura longitudinal, com um eixo de desoxirribose e fósforo, ao qual as bases nitrogenadas se conectavam. Três laboratórios estavam trabalhando enfaticamente no entendimento de como esses três tipos de moléculas se ligavam entre si. Eram eles: o do Caltech (California Institute of Technology), em Pasadena, onde trabalhava Linus Pauling; o do King's College, de Londres, onde o grupo de Maurice Wilkins e seus colaboradores – entre eles, destacando-se Rosalind Franklin – realizavam suas pesquisas; e o Cavendish, na universidade de Cambridge, onde trabalhavam James Watson e Francis Crick (MAYR, 1998).

No trabalho desenvolvido nestes três laboratórios, houve um entrelaçamento entre a biologia, a física e a química, que foi decisivo na aceitação do modelo de dupla hélice para o DNA como um fato científico. Fleck (1986) nos auxilia a evidenciar isto quando afirma que o fato científico é resultado de um contexto histórico mediado por um estilo de pensamento como fruto do trabalho de um coletivo.

A interdisciplinaridade da biologia molecular

Nos três laboratórios (Caltech, Cavendish e King's College) havia pesquisadores que estavam trabalhando com DNA e buscavam a proposição de um modelo para a sua estrutura com o objetivo de entender sua atuação biológica e merecer o reconhecimento da comunidade científica. Quando o químico Linus Pauling (1901-1994) enviou ao filho, Peter Pauling, que trabalhava com Watson e Crick no Cavendish, o esboço de um artigo no qual, a partir de seu conhecimento sobre a estrutura helicoidal das proteínas, fazia a proposição de uma tripla hélice para a estrutura do DNA, a competição se intensificou (GRIBBIN, 1985; McGRAYNE, 1994; FERREIRA, 2003).

Segundo Ferreira (2003), Francis Crick colaborou anteriormente com dois outros cristalógrafos, Van e Cochran, no problema que envolvia verificar as características especiais que se devia esperar nas figuras de difração por raios X de moléculas em forma de hélices. Em 1951, quando já havia adquirido técnicas e conhecimentos fundamentais em cristalografia, começou a trabalhar com James Watson.

Em 1951, quando Watson ingressou no Cavendish, encontrou-se com Crick e, apesar de serem especialistas em áreas diferentes (biologia e física, respectivamente) surgiu entre eles um trabalho cooperativo. Mesmo não sendo o projeto oficial de nenhum deles, eles se aliaram com o objetivo de propor uma estrutura para o DNA utilizando os dados que lhes eram acessíveis (OLBY, 1994; HAUSMANN, 2002). No Cavendish, na unidade de cristalografia

por raios X, trabalhava Max Perutz, interessado em determinar a estrutura da hemoglobina. O diretor do Cavendish era *Sir* Lawrence Bragg, que ao lado de seu pai, *Sir* William Bragg, havia desempenhado um papel proeminente na criação da cristalografia por raios X. (STRATHERN, 2001; FERREIRA, 2003).

O trabalho em cristalografia de raios X também estava avançando bastante no King's College, em Londres, onde trabalhavam Maurice Wilkins e Rosalind Franklin.

Embora estivessem trabalhando com o mesmo tema – estrutura do DNA – Franklin e Watson tinham formas de trabalho muito diferentes. Franklin fazia mensurações das chapas de difração, para tentar estabelecer uma correspondência entre elas e os comprimentos de ligação conhecidos entre moléculas, adotando um método baseado em dados empíricos. Já Watson, ao voltar para Cambridge, decidiu seguir a forma de trabalho de Pauling, seu compatriota, e pensou em construir modelos (STRATHERN, 2001; HAUSMANN, 2002).

Contando com o apoio de Crick, Watson construiu um primeiro modelo. Porém, como este foi produzido com base em dados errados, ocorreram falhas, sendo a maior delas relacionada com o alto conteúdo de água por unidade cristalina, que os levou a colocar as bases do lado de fora da molécula (STRATHERN, 2001; HAUSMANN, 2002). O erro logo foi percebido pelos colegas do Cavendish, bem como pela equipe de Franklin e Wilkins do King's College. Quando *Sir* Lawrence Bragg, chefe do Cavendish, tomou conhecimento do fato, proibiu ambos de continuar seus trabalhos com DNA: Crick recebeu ordem de voltar para seu trabalho sobre proteínas e Watson, por sua vez, foi encorajado a retornar para seu próprio campo, o dos fagos (McGRAYNE, 1994; HAUSMANN, 2002).

Assim, o empreendimento de Crick e Watson, que visava o prêmio pela proposição da estrutura do DNA, parecia ter sucumbido e “na primavera de 1952, Rosalind Franklin era a única pessoa que trabalhava no DNA em período integral” (McGRAYNE, 1994, p. 330). Nesse ponto, podemos identificar a importância da contribuição individual do sujeito, como afirma Fleck (1986, p. 92), embora a construção do conhecimento seja um empreendimento coletivo, “isto não quer dizer que não se tenha em conta o indivíduo como fator epistemológico”. As condições desfavoráveis foram superadas por Watson e por Crick, graças à “ambição ilimitada” que possuíam e aos esforços que estavam dispostos a fazer para alcançar seu objetivo de elucidar a estrutura do DNA. Desse modo, o estudo dos fagos era, como o próprio Watson (1968, p. 91) afirma, “a fachada perfeita para disfarçar meu persistente interesse no DNA”. A atitude de Crick, conforme Strathern (2001), era mais explicitamente rebelde ao afirmar que ele poderia ter sido proibido de trabalhar com o DNA, mas que ninguém na face da Terra poderia proibi-lo de pensar sobre ele. Essas atitudes individuais só tiveram sucesso porque repercutiram significativamente sobre o trabalho coletivo que se estabeleceu a partir desses posicionamentos surgidos em momentos socialmente apropriados (FLECK, 1986).

Apesar do erro cometido e da conseqüente proibição, os dois pesquisadores continuaram sua busca pela estrutura da molécula dos seres vivos. Para Fleck (1986), os muitos empreendimentos fracassados e os erros cometidos são partes do material de construção de um fato científico. Se na ciência não se pode jamais alcançar a verdade absoluta, o que realmente interessa é o caminho percorrido para se aproximar da verdade, não importando os erros que se cometem ao longo do mesmo. Pois, segundo o autor, não há nenhum erro absoluto e tampouco existem verdades absolutas.

Com a perspectiva de uma possível publicação de Linus Pauling propondo uma estrutura para o DNA, embora quimicamente sem consistência, Watson e Crick foram autorizados por Bragg a reativar – oficialmente – suas pesquisas objetivando demonstrar a estrutura que a molécula de DNA assume em uma célula (McGRAYNE, 1994; HAUSMANN, 2002).

Decidiram continuar a construir modelos, mas desta vez, baseando-se nos conhecimentos da química e da física e considerando os resultados de duas outras investigações: uma realizada por Chargaff, em Nova Iorque, e outra por Rosalind Franklin e Maurice Wilkins, em Londres. A primeira investigação estabeleceu as proporções de bases na composição da molécula, abrindo caminho para a estrutura atualmente aceita. A segunda, proporcionada pelo padrão de difração de raios X, obtido quando uma fibra de DNA cristalizado é bombardeada com raios X, permitiu inferir que o DNA é uma molécula helicoidal. Linus Pauling, que elaborou o modelo da estrutura α -hélice das proteínas (um alinhamento linear dextrógiro helicoidal ou espiral dos átomos das moléculas gigantes), serviu de referência para o trabalho de Watson e Crick (ROBERTS, 1993, HAUSMANN, 2002).

Para Darcy Fontoura de Almeida (2003) e Gribbin (1985), também é importante destacar a importante participação de outro membro da comunidade científica do Cavendish, Jerry Donohue, físico-químico e cristalógrafo, que durante 1952-1953 ocupou a mesma sala de Watson e Crick. Foram as informações de Jerry Donohue que despertaram, na dupla Watson e Crick, a percepção inventiva de que o emparelhamento purina-pirimidina das bases nitrogenadas tinha sempre dimensões similares, pois completaram as condições necessárias e suficientes para que eles propusessem uma estrutura para a molécula do DNA, que foi publicada em um artigo de apenas 900 palavras e um diagrama simples, na *Nature*, em 25 de abril de 1953.

Embora sejam os nomes de Watson e Crick que se destacam quando se comenta sobre a estrutura do DNA, o comitê do Prêmio Nobel, em 1962, reconheceu a participação importante de um membro do laboratório do King's College: Maurice Wilkins.

Entre os cientistas que deram sua contribuição para a proposição da estrutura do DNA, vamos encontrar apenas uma mulher: Rosalind Elsie Franklin (1920-1958). Ela, porém, obteve pouco reconhecimento por suas importantes contribuições e, segundo McGrayne (1994) e Almeida (2003), vários fatores podem ter contribuído para isso: talvez por ser mulher em uma época na qual os preconceitos eram ainda maiores do que nos dias de hoje, talvez devido a seu gênio retraído, à sua forma ortodoxa de trabalho, à falta de uma colaboração competente, ao atropelamento de valores éticos pelos colegas ao utilizarem alguns de seus dados sem sua permissão, à sua morte precoce, ou ainda, a outros fatores devidos ao puro acaso.

Considerações finais

A aceitação do modelo de dupla hélice foi o ponto de partida para tentativas de esclarecer a genética da transmissão no nível molecular. O círculo de saber esotérico, definido por Fleck (1986) como formado pelos produtores do conhecimento, começou a trabalhar tendo como orientação essa estrutura da molécula de DNA, conforme o modelo proposto por Watson e Crick. Porém, não se pode esquecer que a proposição do modelo de estrutura da molécula do DNA foi o resultado de várias décadas de investigações realizadas por inúmeros cientistas, predecessores e contemporâneos ao fato científico, cujas observações ou teorias foram imprescindíveis como etapas de produção científica. Houve uma circulação intercoletiva de idéias que proporcionou as condições para que isso ocorresse. Fleck (1986, p. 154) afirma que “a complexa estrutura da sociedade moderna leva consigo que os coletivos de pensamento se interseccionem e inter-relacionem de formas diversas, tanto temporal quanto espacialmente”. Isso, no entanto, não implica a desconsideração da participação individual, pois como afirma Darcy Fontoura de Almeida (2003, p. 9, paginação eletrônica), “muitos contribuem, cada qual com sua singularidade, o que dá ênfase ao mistério da evolução da ciência”.

A análise desse fato científico demonstra que a ciência não é algo dado, acabado, natural, mas uma construção. Não existe “descoberta” acidental, nem tampouco os cientistas trabalham desinteressadamente. A valorização da perspectiva histórica da ciência como um processo social, isto é, como “uma obra de homens e mulheres que tanto influenciaram como são influenciados por seu contexto físico e social” (BIZZO, 1991, p. 282) tem conseqüências na forma de ensinar/aprender ciências.

A inclusão da História da Ciência, entendida de forma mais ampla, como a história da construção do conhecimento, pode ser uma facilitadora da educação científica, quando o pressuposto é o aspecto dinâmico do saber científico. Ao ser utilizada no ensino de genética, deverá levar o aluno a perceber que a ciência se constitui numa construção sócio-histórico-cultural. Por outro lado, também pode auxiliar na compreensão dos conceitos fundamentais da disciplina. No caso do exemplo utilizado aqui, a história do modelo de estrutura do DNA auxilia no entendimento dos conhecimentos atuais sobre o mecanismo de transmissão genética.

Nesse contexto, a recomendação de que se deve introduzir a História da Ciência nos cursos de formação de professores contribui para uma nova forma de conceber a ciência como conhecimento dinâmico, produzido por seres humanos com limitações, utilizando aparelhos nem sempre tão perfeitos, pois “um fato científico não pode ser compreendido fora do contexto da história do pensamento e resulta de um estilo de pensamento determinado” (FLECK, 1986, p. 141). Ao permitir a exploração de uma visão mais adequada da produção e evolução do conhecimento científico, a História da Ciência poderá trazer importantes contribuições à área da educação científica, especialmente na área da genética, que está em acelerado processo de renovação de conhecimentos.

Referências

- ALMEIDA, D. F. de. 50 anos de DNA: história de um sucesso e de duas tragédias. In: CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA, 49, 2003, Águas de Lindóia. *Conferência... Águas de Lindóia*: [s.n.], 2003.
- BIZZO, N. M. V. *Ensino de evolução e história do darwinismo*. 1991. 2 v. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- BUGALLO RODRIGUEZ, A. La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 3, n. 13, p. 379-385, 1995.
- CASTILHO, N; DELIZOICOV, D. Trajeto do sangue no corpo humano: instauração-extensão-transformação de um estilo de pensamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2, 1999, Valinhos. *Atas...* Valinhos: Associação Brasileira de Pesquisadores em Educação em Ciências, 1999. 1 CD-ROM.
- DA ROS, M. A. *Estilos de pensamento em Saúde Pública: um estudo da produção FSP-USP e ENSP-FIOCRUZ, entre 1948 e 1994, a partir da epistemologia de Ludwik Fleck*. 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- DELIZOICOV, D. *et al.* Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, p. 52-69, 2002.
- FERREIRA, R. *Watson & Crick: a história da descoberta da estrutura do DNA*. São Paulo: Odysseus, 2003.

FLECK, L. *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Tradução de Luis Meana. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

GRIBBIN, J. *In search of the Double Helix*. Nova York: McGraw-Hill, 1985.

GRIFFITHS, A. J. F. *et al. Introdução à genética*. Tradução de Paulo Armando Motta. 6. ed. Rio de Janeiro: G. Koogan, 1998.

HAUSMANN, R. *História da biologia molecular*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2002.

JUSTINA, L. A. D.; FERRARI, N.; ROSA, V. L. da. Genética no Ensino Médio: temáticas que apresentam maior grau de dificuldade na atividade pedagógica. In: ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA, 7, 2000, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2000. p. 794-795.

LEITE, R. C. M. *A produção coletiva do conhecimento científico: um exemplo no ensino de genética*. 2004. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LEITE, R. C. M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru, v. 1, n. 2, p. 97-108, 2001.

LEWIS, J.; WOOD-ROBINSON, C. Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, London, v. 22, n. 2, p. 177-195, 2000.

MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Tradução de Ivo Martinazzo. Brasília: UnB, 1998.

MARTINS, R. A. Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme*, Porto Alegre, n. 10, p. 39-56, jan/jun. 2000.

McGRAYNE, S. B. *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências*. São Paulo: Marco Zero, 1994.

MENEGHINI, R. Os gênios e o gene. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, p. 6-14, 2003. Número especial.

NOUVEL, P. *A arte de amar a ciência*. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2001.

OLBY, R. *The path to the Double Helix: the discovery of DNA*. New York: Dover Publications, 1994.

PFEUTZENREITER, M. R. *O ensino da medicina veterinária preventiva e saúde pública nos cursos de medicina veterinária*. 2003. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROBERTS, R. M. *Descobertas acidentais em ciências*. São Paulo: Papyrus, 1993.

SCHEID, N. M. J. *Os conceitos de genética e as implicações na docência*. 2001. Dissertação (Mestrado em Educação nas Ciências) – Unijuí, Ijuí, 2001.

SCHEID, N. M. J., DELIZOICOV, D.; FERRARI, N. A proposição do modelo de DNA: um exemplo de como a História da Ciência pode contribuir para o ensino de genética. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4, 2003, Bauru. *Atas...* Bauru: Associação Brasileira de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2003. 1 CD-ROM.

SCHRÖDINGER, E. *O que é vida?* O aspecto físico da célula viva seguido de mente e matéria e fragmentos autobiográficos. Tradução de Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. 4. ed., São Paulo: Unesp, 1997.

STRATHERN, P. *Crick, Watson e o DNA*. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

WATSON, J. D. *The Double Helix: a personal account of the discovery of the structure of DNA*. Londres: Penguin Books, 1968.

WEAVER, W. Molecular biology: origins of the term. *Science*, Washington, v. 170, p. 581-582, 1970.

WOOD-ROBINSON, C. *et al.* Genética y formación científica: resultados de un proyecto de investigación y implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 1, n. 16, p. 43-61, 1998.

**Artigo recebido em julho de 2004 e
selecionado para publicação em maio de 2005.**