

A dupla hélice do DNA: história revisitada à luz da epistemologia kuhniana

11

The double helix of DNA: history revisited in light of epistemology kuhniana

DOI: 10.18226/21784612.v22.n3.11

Nyuara Araújo da Silva Mesquita*
José Firmino de Oliveira Neto**
Aline Prado de Oliveira***
Christianne de Lima Borges Moraes#

Resumo: O estudo acerca dos fatos e episódios científicos é importante no sentido de que possibilita a compreensão do desenvolvimento das ciências em contextos tanto do ensino, em diversos níveis, quanto da pesquisa. No entanto, a leitura dessa construção histórica precisa considerar visões de ciência que superem as perspectivas lineares e neutras sobre a construção do processo de produção científica. Sob tal perspectiva, propõe-se, neste artigo, uma releitura do movimento de

* Bacharela, Licenciada, Mestre e Doutora em Química. Docente na área de Ensino de Química do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás (UFG) e nos Programas de Pós-Graduação em Química da UFG e de Educação em Ciências e Matemática da UFG. *E-mail:* nyuara2006@gmail.com

** Licenciado em Ciências Biológicas. Mestre em Educação em Ciências e Matemática. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da UFG. Atua como professor-substituto na área de Ensino de Biologia da UFG – Regional Goiânia. *E-mail:* neto.09@hotmail.com

*** Licenciada em Ciências Biológicas. Mestre em Educação em Ciências e Matemática pela UFG. Professora na Rede Estadual de Educação de Goiás. *E-mail:* alinecig@gmail.com

Bacharela e Licenciada em Ciências Biológicas. Mestre em Educação em Ciências e Matemática. Professora na Rede Estadual de Educação de Goiás. *E-mail:* chris_libor@hotmail.com

elaboração do modelo da dupla hélice do DNA a partir do aporte epistemológico de Thomas Kuhn. Entendemos ser esse um contexto importante que permeia a formação científica tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior, no campo das ciências biológicas, e que os conceitos desenvolvidos a partir da elaboração do modelo da dupla hélice são basilares à compreensão de conhecimentos relacionados à genética, à citologia, à evolução, dentre outros. No processo de revisitar esse recorte histórico, identificamos os embates teóricos entre pesquisadores de diversos campos, a competição e o consenso como elementos que mobilizam a busca de respostas na concretização de novo paradigma. Dessa forma, a dinamicidade da ciência se mostra presente rejeitando a ideia do dado pronto e valorizando o processo no qual o conhecimento se constrói. Propomos que esse seja um exercício de reflexão considerando-se que revisitar a história da ciência a partir de diferentes perspectivas epistemológicas pode propiciar aos sujeitos novos olhares em um devir que descortine conceitos construídos de maneira dinâmica por homens e mulheres que, entre ires e vires, dão significado aos fenômenos que nos rodeiam.

Palavras-chave: DNA. Thomas Kuhn. Ciência normal. Revolução Científica.

Abstract: The study of facts and scientific happenings is important in a sense of enabling the comprehension of the development of science in different contexts, such as in teaching environments, in distinct levels, and in research. However, the interpretation of this historic construction must take in consideration notions of science that overcome linear and neutral perspectives on the construction of the scientific production process. Under that perspective, this article proposes a re-reading of the elaboration movement of DNA's double helix model from Thomas Kuhn's epistemological input. It is found that this is an important context which pervades scientific up bringing and formation in the field of biological science, as well as in primary as in higher education, and that the concepts developed from the elaboration of the double helix model are pivotal for the comprehension of knowledge related to genetics, cytology, evolution and other topics. In the process of revisiting this historic moment, we have identified the theoretical clashes among researchers from various fields, the competition and the consensus as elements which mobilize the search for answers in the accomplishment of a new paradigm. In this manner, science's dynamism proves to be present, rejecting the idea of a plain given fact and valuing the process in which knowledge is built. We propose that this is a reflection exercise, considering that revisiting the

history of science from different epistemological perspectives can foster subjects new outlooks on a becoming which uncurtains concepts built in a dynamic way by men and women who, between comings and goings, give meaning to the phenomena that surround us.

Keywords: DNA. Thomas Kuhn. Normal science. Scientific Revolution.

Introdução

O emprego de aspectos históricos e filosóficos é apontado pelos estudiosos do campo da didática das ciências como um aspecto fundamental no ensino de ciências. Furió-Más, Furió-Gómez e Solbes-Matarredona (2012, p. 53) referem que “la realización del análisis histórico y epistemológico del conocimiento científico es fundamental para la primera fase de elaboración de una unidad didáctica, esto es para idear um hilo conductor con el que organizar y secuenciar los contenidos”. Dessa forma, os elementos históricos considerados sob a ótica do professor mostram-se como balizadores de escolhas metodológicas no contexto escolar. Isso posto, o ensino de ciências necessita de um aporte histórico para se concretizar como elemento de alfabetização científica. (LEITE; FERRARI; DELIZOICOV, 2001).

Nesse sentido, entende-se que a perspectiva histórica exerce papel relevante no processo de ensino e aprendizagem das ciências e que precisa ser inserida em discussões na formação inicial e continuada, considerando que o modo como o professor se apropria dos conhecimentos constituídos está imbricado na maneira como ensinará seus alunos futuramente. (PACHECO, 2014). Entendemos que a leitura histórica pode envolver diferentes perspectivas epistemológicas ao tratar da descoberta de fatos científicos e da criação de modelos explicativos para os fenômenos. Assim, este texto tem como objetivo contribuir para reflexões sobre o ensino de ciências ao explicitar o processo histórico de elucidação da dupla hélice do DNA a partir do aporte epistemológico de Thomas Kuhn.

A escolha do foco sobre a história da descoberta do DNA se deu por entendermos que essa é uma das proposições mais importantes da ciência desde as ideias evolutivas de Charles Darwim. A proposição do modelo de dupla hélice e o entendimento da fisiologia do DNA levaram a biologia a caminhar velozmente nas últimas décadas. Embora o modelo criado para o DNA tenha se constituído como solução para muitas questões científicas, no campo do ensino dessa ciência, no recorte da genética, alguns autores

citam problemas, inclusive no contexto de formação de profissionais da área. Acerca desse aspecto, alguns autores sinalizam que um caminho na busca de solução, para minimizar tais problemas, seria a inserção de discussão histórica, filosófica e epistemológica na discussão conceitual relacionada ao processo de ensino e aprendizagem. (JUSTINA; FERRARI; ROSA, 2000; SCHEID, 2001; SCHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

Dessa forma, propomos uma releitura do contexto histórico da elucidação do modelo de DNA, considerando os pressupostos da epistemologia kuhniana e trazendo à luz novas perspectivas à discussão científica. Ressaltamos a importância da discussão epistemológica no contexto formativo de profissionais da área de ciências, sejam eles pesquisadores, sejam eles professores. No caso da abordagem epistemológica na formação de professores, as concepções sobre a natureza da ciência influenciam na prática docente e, desse modo, é necessário que se aprofundem “as relações entre questões pedagógicas e epistemológicas na educação em Ciência”. (BORGES, 2007, p. 85). O texto encontra-se estruturado em três seções: a primeira seção apresenta os aportes principais da epistemologia kuhniana visando a situar o leitor nas principais proposições de Thomas Khun sobre a natureza do conhecimento científico. Em seguida, será apresentado o contexto histórico da criação do modelo de estrutura explicativa do DNA, considerando a perspectiva kuhniana e algumas reflexões sobre os caminhos e as perspectivas que se mostram a partir da estruturação do modelo de DNA que pode não representar um fim, mas um começo, ou um caminho para outros períodos da ciência normal.

Aspectos gerais da epistemologia de Thomas Kuhn

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), físico norte-americano, se dedicou ao estudo da história e filosofia da ciência. Sua principal obra *A estrutura das revoluções científicas*, editada pela primeira vez em 1962, criou um grande “rebuliço” no mundo científico à época, como aponta Mayr (2008). Segundo Ostermann (1996), a nova visão de ciência do autor surgiu com o intuito de fazer críticas ao positivismo lógico e à historiografia tradicional, pois as concepções preponderantes, no período em questão, caracterizavam o conhecimento científico como definitivo, obtido a partir da observação neutra, caracterizado ainda como linear e cumulativo. Contrariamente a essa ideia, Kuhn afirmava que a observação deve vir antecedida de teorias, portanto, não é neutra, o que reforça, dessa forma, a inseparabilidade entre observações e pressupostos teóricos. Além disso, as ideias kuhnianas

propunham que não havia justificativa lógica para o método indutivo, e que o caráter construtivo-inventivo se sobrepunha ao caráter definitivo do conhecimento reconhecido como verdadeiro.

Para a epistemologia kuhniana, segundo Ostermann (1996), a ciência obedece ao seguinte modelo de desenvolvimento: uma sequência de períodos de *ciência normal*, nos quais a comunidade de pesquisadores adere a um *paradigma*, interrompidos por *revoluções científicas* (ciência extraordinária). Os episódios, por sua vez, são marcados por anomalias, crises no paradigma dominante, culminando com sua ruptura. Na busca de tentarmos compreender a epistemologia kuhniana de maneira mais explicitada, discutiremos alguns desses conceitos. Sem dúvida, um dos conceitos fundamentais na teoria kuhniana é o de *paradigma*, que proporcionou inúmeras polêmicas, haja vista que o termo foi empregado por Kuhn para distintos sentidos, se enquadrando como polissêmico no corpo da principal obra do autor. De maneira geral, Kuhn (2009), argumenta que o termo paradigma é empregado em dois sentidos diferentes: de um lado, indica toda a constelação de crenças, valores, técnicas, etc., partilhadas pelos membros de uma determinada comunidade. De outro, denota um tipo de elemento dessa constelação: as soluções concretas de quebra-cabeças que, empregadas como modelos, podem substituir regras explícitas como base para a solução dos restantes quebra-cabeças da ciência normal.

O período de ciência normal é a tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis, fornecidos pelo paradigma, ou seja, modelar a solução de novos problemas segundo problemas “exemplares”. (OSTERMANN, 1996). Kuhn (2009, p. 29) atribuiu significado à ciência normal como “pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações científicas são reconhecidas, durante algum tempo, por alguma comunidade científica específica e proporciona os fundamentos para sua prática posterior”.

Ainda para o autor, a ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novos fenômenos; na verdade, os que não se ajustam aos limites dos paradigmas nem são vistos. Sendo assim, a pesquisa científica normal deve ser dirigida à articulação de fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma, o que restringe drasticamente a visão do cientista, mas essas restrições são essenciais ao desenvolvimento científico. Para melhor compreender esse período, Kuhn (2009) faz uma analogia com a resolução de um quebra-cabeça em que diz: resolver um problema de pesquisa normal é alcançar o antecipado de nova maneira, para isso, requer a solução de todos os tipos

complexos de quebra-cabeças instrumentais, conceituais e matemáticos. O indivíduo que é bem-sucedido nessa tarefa prova que é um perito na resolução de quebra-cabeças, e o desafio apresentado por esse constitui uma parte importante da motivação do cientista pelo trabalho.

De acordo com Kuhn (2009, p. 77), “a ciência normal, atividade que consiste em solucionar quebra-cabeças, é um empreendimento cumulativo, extremamente bem-sucedido no que toca ao seu objetivo, a ampliação contínua e a precisão de conhecimento científico”, no entanto, há ocasiões em que o “quebra-cabeça” em período de ciência normal não é capaz de resolver todos os problemas, podendo esses persistir por anos ou, até mesmo, por séculos. A partir desse ponto, os problemas, ao invés de serem encarados como quebra-cabeças, passam a ser considerados como anomalias e, sendo assim, o paradigma dominante é posto em xeque e se começa a considerar se o mais adequado é resolver os problemas emergidos ou se esses devem ser abandonados. Então, é quando se estabelece uma crise na área de pesquisa – o chamado período de ciência extraordinária. A compreensão e abordagem da crise, a partir da perspectiva khuniana, pode se configurar como uma possibilidade didática no ensino de biologia, no sentido de evidenciar os problemas enfrentados pelos cientistas e se torna importante para sinalizar a não neutralidade da ciência, pois, ao se discutirem os interesses imbricados no desenvolvimento dos fatos científicos, abre-se espaço para discussões de caráter epistemológico na formação dos sujeitos, no caso específico, de profissionais da área das ciências biológicas.

Os paradigmas não são rejeitados pelos cientistas simplesmente porque se defrontam com anomalias. Após ter atingido o *status* de paradigma, uma teoria científica só será considerada inválida quando existir nova alternativa para substituí-la. Optar por rejeitar um paradigma é decidir pela aceitação de outro. (OSTERMANN, 1996). A substituição de novos paradigmas, referentemente ao paradigma dominante, é chamada de “Revolução Científica” e, a cada revolução, o ciclo inicia novamente, ou seja, o paradigma instaurado dá origem a novo processo de ciência normal. Vale ressaltar que “a revolução científica não é aceita pacificamente, embora suas transformações costumem ser apresentadas nos tratados, manuais e obras de divulgação, de modo linear, como se o ‘progresso’ histórico fosse construído ‘tijolo por tijolo num desenho lógico’” (JACOBINA, 2000, p. 628), e tal perspectiva sinaliza que as mudanças de paradigma não são aceitas sem embates entre os sujeitos da ciência.

Kuhn (2009, p. 125) considera as “Revoluções Científicas” como episódios de desenvolvimento não cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por outro, porém incompatível com o anterior. Destaca, ainda, que se inicia com um sentimento crescente e restrito a uma pequena subdivisão da comunidade científica, de que o paradigma existente deixou de funcionar adequadamente na exploração de um aspecto da natureza, na qual fora anteriormente dirigida pelo paradigma. Desse modo, à medida que os problemas mudam, exige-se mudança dos padrões das soluções científicas, emergindo uma “tradição científica normal que é não somente incompatível, mas muitas vezes verdadeiramente incomensurável com aquela que a precedeu”. (KUHN, 2009, p. 138). A seguir, apresentamos o processo de historicização da elucidação do modelo de dupla hélice do DNA mediante as proposições de Kuhn, objetivando compreender como a ciência, nesse caso específico a biologia, caminha à luz da visão do autor.

A proposição do modelo de DNA: historicização e aproximações com a visão de Kuhn

Em meados da década de 1880 os cientistas admitiam que o lócus da hereditariedade estivesse situado no núcleo, especificamente que a “cromatina” – termo cunhado por Flemming (1843-1905) em 1879 – formava o material genético. Mais tarde, a ideia de que os genes poderiam ser moléculas foi difundido apesar de não ser consenso entre os estudiosos que se debruçavam sobre a questão. (MAYR, 1998; SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

No período, os cientistas tinham dúvidas sobre a natureza da cromatina e se perguntavam se essa seria outra substância ou a mesma proteína encontrada no citoplasma. A resposta à questão já havia sido dada por Miescher (1844-1895), médico fisiologista e químico orgânico, em 1868, quando, estudando células purulentas, extraiu o DNA. Como ainda não conheciam a molécula chamou-a de nucleína. (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005). Seus resultados foram publicados em 1871, quase dois anos após a constatação, e a demora se deu pelo fato de Hoppe-Seyler, famoso químico orgânico da época, somente publicar dados após fazer novos testes e confirmar os dizeres de Miescher. (Apud MAYR, 1998).

No contexto da época, os cientistas entendiam que as proteínas eram mais complexas que o DNA, o que levou a uma “determinada abordagem para a busca de soluções de problemas”, o que pode ter desmotivado muitos

cientistas na busca pelo entendimento do DNA como a molécula responsável por carregar as informações genéticas dos seres vivos. (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005, p. 226).

Considerando a perspectiva de Kuhn sobre o desenvolvimento científico, podemos considerar esse momento como o paradigma vigente da época, em que as proteínas eram consideradas como portadoras de material genético, mesmo não havendo um modelo de DNA. Quando o paradigma se instala, vive-se o período de ciência normal, o qual, segundo Ostermann (1996), é a tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis fornecidos pelo paradigma.

Ao longo de sua carreira, Miescher se dedicou mais às questões de ordem fisiológica ou de natureza química em detrimento de questões genéticas, conforme relatado por Sheid, Ferrari e Delizoicov:

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. (2005, p. 226).

Mayr (1998) afirma que, no fim da década de 1880, os citologistas já haviam dado todas as contribuições que eram possíveis mediante os métodos que empregavam. Compreendiam que a cromatina era constituída, basicamente, por DNA, mas ignoravam as questões químicas que circundavam a molécula. Ignorar alguns fatores que surgem durante um processo científico faz parte do que Kuhn coloca como metáfora, relacionando à ciência normal que é a resolução de um quebra-cabeça, pois, segundo Ostermann,

para ser classificado como quebra-cabeça, um problema deve não só possuir uma solução assegurada, mas também obedecer a regras (ponto de vista estabelecido, concepção prévia) que limitam tanto a natureza das soluções aceitáveis como os passos necessários para obtê-las. (1996, p. 187).

Já no final da década de 1890 e início de 1900, o cientista Albrecht Kossel identificou as bases nitrogenadas (citosina, guanina, adenina e timina). (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005, p. 226). Os estudos desse pesquisador iniciaram no laboratório de Hoppe-Seyler, em 1879, ano em que conseguiu demonstrar a existência de uma base, que denominou de “hipoxantina”; mais tarde demonstrou ser essa derivada da adenina, o que o levou à descoberta das demais bases. (MAYR, 1998).

Em 1908, Phoebus Aaron Levene (1869-1940) iniciou suas pesquisas com DNA, passando, em pouco tempo, a liderar esse campo de estudos como aponta Mayr (1998). Tempos antes, 1893, Kossel havia conseguido demonstrar que um açúcar pentose constituía a composição do ácido nucleico do fermento, mas foi somente em 1909 que Levene e Jacobs identificaram-no como sendo uma ribose (*idem*). De acordo com Sheid, Ferrari e Delizoicov (2005, p. 227), ao discutirem a construção do conhecimento científico na perspectiva da elaboração do modelo de DNA, “a ideia 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”.

A questão da natureza do DNA, por muitos anos, passou a ser assunto da química, passando pelos problemas que constituem a ciência normal. Kuhn os classifica da seguinte forma: 1 – determinação do fato significativo; 2 – harmonização dos fatos com a teoria; e 3 – articulação da teoria. (OSTERMANN, 1996). Assim, poderíamos dizer que a determinação do fato significativo se encontra no aprofundamento dos conhecimentos químicos acerca do DNA; que a harmonização dos fatos com a teoria possibilitou o desenvolvimento de equipamentos e métodos experimentais; e que a articulação da teoria, considerada por Kuhn a classe de problemas mais importante de todas, não foi concretizada, pois esse seria o momento de articular a teoria ao paradigma. Porém os conhecimentos obtidos abriram espaço à constatação a seguir.

Entre 1930 e 1940, dando um salto na nossa história, o conhecimento sobre a química do DNA havia se ampliado, e o que vigorava era o conceito de macromoléculas polimerizadas. A questão proporcionou o emprego de outros métodos, como a centrifugação, a filtração e a absorção de luz, o que resultou na constatação de que as moléculas de DNA eram maiores do que se imaginava, afastando a objeção de muitos cientistas de que essa seria

a responsável pela informação genética. (MAYR, 1998; SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

Paralelamente às questões acima, em 1928, o bacteriologista britânico F. Griffith (1877-1941), em estudos com pneumococos, especificamente com duas cepas desses, uma virulenta e outra não virulenta, observou que havia uma substância capaz de transformar as bactérias não virulentas em virulentas, o que ficou mais tarde conhecido como “princípio transformador”. Anos mais tarde, Avery, Macleod e Macthy, realizando novos experimentos, conseguiram “demonstrar que o princípio transformador, em uma solução aquosa desprovida de células era o DNA”. (MAYR, 1998, p. 912). Segundo Griffith et al. (1998, p. 294), “a demonstração de que o DNA é o princípio transformante foi a primeira demonstração de que os genes são compostos de DNA”. As descobertas de Avery e seu grupo exerceram grande impacto no período, e Mayr faz a seguinte afirmação:

Posso confirmar isso com base na minha experiência pessoal, quando, na segunda metade da década de 1940, passei os meus verões em Cold Spring Harbor. Meus amigos e eu estávamos convencidos de que agora ficou definitivamente demonstrado que o DNA era o material genético. (1998, p. 913).

As descobertas de Avery e as sobre o tamanho e a complexidade da molécula de DNA foram tão impactantes que podemos comparar com o momento do desenvolvimento científico, que Kuhn denomina “Revolução Científica”. Segundo o autor, os problemas, ao invés de serem encarados como quebra-cabeças, passam a ser considerados como anomalias, um “fenômeno para o qual o paradigma não prepara o investigador”, tendo esse papel essencial no caminho para a percepção de novidades. (KUHN, 2009, p. 84).

Nesse período, ainda se acreditava fortemente que a teoria tetranucleotídica era correta, mas a confrontação com essa ideia somente ocorreu em 1949 quando E. Chargaff (1905-1995) concluiu que, em qualquer ser vivo, a quantidade de adenina (A) seria semelhante à de timina (T) e, da mesma forma, a quantidade de guanina (G), à de citosina (C), constituindo o que chamou de “Regra de Chargaff”. (OLBY, 1994 apud SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

Ressaltamos, aqui, um grande marco na historiografia recontada. Em 1944, Erwin Schrödinger, considerado um dos pioneiros da mecânica quântica, publicou o livro *What is Life?*, no qual arguia que os genes seriam “cristais aperiódicos”, ou seja, que seriam constituídos por disposição de diferentes elementos isômeros, o que ficou conhecido anos mais tarde como *nucleotídeos*. O cientista referia, ainda, que as diversas sequências presentes seriam responsáveis pela codificação das informações genéticas. (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005). Empregando as palavras de Watson (2014, p. 37), “o livro propõe com muita elegância a idéia de que os genes são o componente-chave das células vivas e que, para entender o que é a vida, precisamos saber como eles agem”. A leitura do livro, por exemplo, em 1946 foi o que levou o físico Francis Crick a deixar a física e enveredar pelos campos da biologia, mais especificamente, da biologia molecular.

Postas essas questões, o pensamento reinante na época pode ser identificado por Sheid, Ferrari e Delizoicov (2005, p. 228) ao explicitarem: “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”.

Salienta-se que, ao darmos enfoque ao processo de construção do modelo de DNA em seu processo histórico, referimo-nos à relevância da educação científica para apropriação, por parte das pessoas, do significado de ciência. De acordo com Ferrari e Scheid (2006), discussões sobre a história do DNA podem contribuir com a educação científica em diversas etapas de ensino, em decorrência da “problematização de concepções sobre a origem, a possibilidade e a essência do conhecimento”. (p. 288).

Após compreendermos o contexto científico que vigorava na época em que o modelo da dupla hélice do DNA foi elucidado, partimos, agora, à história de fato, e entram em cena, neste momento, os principais atores do século XX que trabalhavam em busca da proposição de um modelo para o DNA. Buscando compreender a estrutura da molécula responsável pela hereditariedade, três importantes laboratórios se debruçavam nesse estudo: o *Institut Caltech*, em Pasadena, onde trabalhava o químico Linus Pauling (1901-1994), que descobriu a estrutura de hélice alfa das proteínas e contribuiu com estudos sobre a ligação entre as moléculas (MAYR, 1998); o *King's College* de Londres, onde o grupo do físico Maurice Wilkins (1916-2004) e seus colaboradores, entre eles Rosalind Franklin (1920-1958), realizavam suas pesquisas empregando a difração de raios X (WATSON, 2014); por fim e não menos importante Cavendish, na Universidade de

Cambridge, onde trabalhava James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004). (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

Watson foi para a Universidade de Cambridge depois de realizar seus estudos de pós-graduação em Bloomington, na Indiana, sob a orientação do Professor Luria, após ter passado por *Cold Spring Harbor* onde compreendeu a importância da molécula de DNA. Foi em Cavendish que Watson encontrou, como coloca Mayr (1998), “sua alma irmã”, o físico F. Crick, que, inicialmente, não era tão empolgado pelo estudo do DNA. Essa questão talvez esteja relacionada à formação de Crick que não estava voltada, no contexto inicial, à área da biologia. (MAYR, 1998; OLIVEIRA; SANTOS; BELTRAMINI, 2004). Importante é salientarmos, corroborados por Sheid, Ferrari e Delizoicov (2005), que o estudo de DNA não era o projeto inicial de nenhum dos dois pesquisadores.

Nesse período em que novo paradigma emergia, após as principais descobertas acerca do DNA, principalmente em se tratando de sua constituição química, podemos compará-lo ao período de “Ciência Extraordinária”, em que a “própria anomalia passa a ser mais comumente reconhecida como tal pelos cientistas”. (KUHN, 2009, p. 114). Faltava a proposição de um modelo plausível e aceitável para explicar seu funcionamento, pois, para compreender como o DNA poderia ser a molécula responsável pela hereditariedade, era preciso entender sua estrutura. (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005).

Na corrida pela proposição de um modelo, quem saiu na frente foi Pauling propondo uma estrutura com uma tripla hélice. Watson e Crick ficaram sabendo da notícia por meio de um manuscrito enviado por Pauling a seu filho Peter Pauling (1931-2003), que também trabalhava em Cambridge. Após a leitura do referido trabalho, os pesquisadores constataram que o modelo proposto não era capaz de determinar a relação entre o DNA e o gene, porém “a publicação de Pauling tinha um certo peso, o que poderia comprometer o mérito da almejada descoberta de Watson e Crick, mas que, ao mesmo tempo, dava-lhes impulso para a retomada de suas pesquisas sobre o DNA”. (OLIVEIRA; SANTOS; BELTRAMINI, 2004, p. 12). A notícia intensificou a competição entre os institutos.

O trabalho com cristalografia de raios X foi de suma importância na proposição do modelo de DNA. Na unidade de Cambridge, trabalhava Max Perutz (1914-2002), que se dedicava a estudos sobre a estrutura da hemoglobina. Segundo Oliveira, Santos e Beltramini (2004, p. 229), “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”.

Em Londres, os estudos cristalográficos também avançavam com Wilkins e Franklin. Um fator importante a se colocar é que, embora trabalhando com o mesmo tema – o DNA – os trabalhos eram muito diferentes; Franklin fazia mensuração das chapas de difração, objetivando uma relação entre essas e os comprimentos de ligação conhecidos entre moléculas, por intermédio de um método baseado em dados empíricos. Já Watson seguia o trabalho de Pauling, pensando na construção de modelos. (OLIVEIRA; SANTOS; BELTRAMINI, 2004).

Com o apoio de Crick, Watson também criou um modelo, porém como detinha informações errôneas (como o teor de água por unidade cristalina), os levou a colocarem as bases nitrogenadas do lado de fora da molécula. (OLIVEIRA; SANTOS; BELTRAMINI, 2004). O erro no primeiro modelo, logo percebido por todos, inclusive pelos amigos do *King's College*, levou Crick e Watson a receberem ordem de voltar aos seus estudos principais. Com o retorno dos dois pesquisadores ao seu estudo inicial, no ano de 1952, a única pesquisadora que trabalhava em período integral na investigação do DNA era Rosalind Franklin (McGRAYNE, 1994). Porém, a proibição não levou Crick e Watson a deixarem de lado o DNA, continuavam conversando e pensando em modelos (como coloca o próprio Watson ao contar sua história científica) na proposição da estrutura de DNA. (WATSON, 2014).

A autorização para a volta de Watson e Crick aos estudos com DNA aconteceu após comentários de que Pauling proporia uma estrutura à molécula, mesmo sem consistência química. (SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005), o que para muitos foi inadmissível, haja vista o mesmo ser químico de formação. (WATSON, 2014). Bragg não queria, nesse momento, perder a corrida pela elucidação do modelo de DNA para o Instituto de Pauling. Importante é destacarmos, aqui, questões que envolvem competições entre segmentos científicos que, como apontado por Kuhn (1970) apud Oliva (2012, p. 569), configuram-se como processos históricos que desembocam na “rejeição de uma teoria antes aceita ou na adoção de outra”. No caso específico, notamos que a competição entre grupos pela busca de um modelo foi evidente e conduziu à elaboração do modelo explicativo vigente, até hoje, para o DNA.

Mediante esses trabalhos, a dedicação por parte dos pesquisadores e a contribuição de muitos outros cientistas do período, muitos dos quais nunca foram lembrados na historiografia da biologia molecular, em 25 de abril de 1953, Watson e Crick publicaram um artigo com 900 palavras e um diagrama simples na revista *Nature* (MAYR, 1998; SHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005; WATSON, 2014), levando o laboratório de Cavendish à vitória na corrida pela elucidação de um modelo coerente para o DNA. A autocomplementaridade, elemento extremamente adequado ao processo de replicação, foi o que chamou imediatamente a atenção dos pesquisadores. (NUNES; OLIVEIRA, 2000). Reiteramos, nesse ponto, que a elucidação da dupla hélice esteve muito imbricada às chapas de raios X produzidas por Franklin no *King's College* como o próprio Watson (2014) deixa claro.

Conforme escreve Ostermann (1996, p. 191), “a emergência de um novo paradigma é, para Kuhn, repentina no sentido que pode ocorrer no ‘meio da noite’, na mente de um homem profundamente imerso na crise”. Salientamos que, no recorte histórico em questão, estava instalada uma crise e, além disso, havia uma busca frenética, uma competição de grupos de pesquisa para chegar a respostas às anomalias instaladas. O modelo proposto, pela sua coerência metodológico-teórica, passou a ser aceito por grande parte da comunidade científica, o que passou a configurá-lo como novo paradigma. Nessa perspectiva, “somente a consolidação de um paradigma é que pode caracterizar o empreendimento de uma determinada comunidade como sendo científico”. (VIEIRA; FERNANDEZ, 2006, p. 361).

No caso do modelo de DNA, não havia ainda um espaço proposto, apenas conjecturas aceitas sobre onde se encontravam os responsáveis pela hereditariedade. Assim, devido ao aprofundamento das descobertas acerca de DNA, foi possível pensar em um modelo consensual, sendo esse o paradigma disponível para responder aos novos problemas que começaram a surgir a partir daí. A proposição do modelo de dupla hélice levou os cientistas a compreenderem a natureza da sequência linear dos genes; revelar o mecanismo de replicação dos mesmos; compreender a natureza química das mutações; e, ainda, explicar por que os processos de mutação e recombinação se dão em separado em nível de molécula. (MAYR, 1998). Assim, desde meados da década de 1940, o campo da biologia molecular tem passado por um processo de transformação, ocasionando avanços em outros campos, como da medicina, agricultura, agropecuária e outros. (MAYR, 2008). Jacobina (2000), analisando momentos da história da ciência a partir da visão kuhniana, argumenta que a descoberta do DNA se configurou

como uma revolução científica que originou elementos que povoam o universo científico da biologia na atualidade como a clonagem, os transgênicos, dentre outros.

Delizoicov (2006), ao estudar questões históricas e epistemológicas relacionadas ao desenvolvimento de modelos explicativos para o sistema sanguíneo humano, salienta que o resgate histórico, na abordagem científica, possibilita a desconstrução de perspectivas empiristas que consideram a observação e as experimentação como origens do conhecimento, a visão do desenvolvimento científico como cumulativo e linear e a crença na neutralidade dos cientistas. Tal perspectiva de abordagem sobre a construção dos modelos científicos ratifica a necessidade de se contrapor ao “analfabetismo científico e evasão de professores e alunos das salas de aula de ciências”. (EL-HANI, 2006). A partir da releitura aqui apresentada, a construção do modelo de DNA, considerando a visão kuhniana, propomos a contextualização do desenvolvimento científico, estabelecendo parâmetros à compreensão desse processo.

Importante é destacar que essa releitura epistemológica sobre o modelo de DNA pode ser encontrada na literatura, a partir de outras visões de ciência. É o caso de Ferrari e Scheid (2006) que fazem essa leitura a partir da visão fleckiana e sinalizam construções argumentativas embasadas na categoria *Estilo de Pensamento*, proposta por Fleck. Dessa forma, entende-se que não há uma única forma de se compreender a ciência e seu desenvolvimento. Assim, não se evidenciam contradições em diferentes formas de entender ou retomar perspectivas históricas do desenvolvimento científico, mas se compreende a possibilidade de que diferentes visões possam ser problematizadas e de que possam subsidiar debates no âmbito da formação de profissionais, cientistas ou educadores, com vistas à superação de concepções simplistas da ciência.

Uma regra que talvez possa ser considerada essencial à evolução da atividade científica, à aquisição de conhecimento, pode ser, por um lado, a redução da perplexidade ou a resolução de algum problema, mas, por outro, pode ocasionar a formulação de inúmeras indagações e novos problemas e, “portanto, a etapa cumprida é, ao mesmo tempo, o fim e o início”. (ALMEIDA, 1999, p. 7). Desse modo, no contexto da proposição do modelo de DNA, podemos inferir como fim, o modelo aceito pela comunidade científica, e o início como sendo a abertura para outras possibilidades de descoberta a partir dele, e um exemplo é o advento da biotecnologia.

Os conhecimentos produzidos a partir das experiências e observações sobre o DNA possibilitaram, a partir dos anos de 1970, o desenvolvimento de diversas metodologias científicas, pois, segundo Resta e Elisbão (2005, p. 12), “surgiam então os primeiros organismos transgênicos ou geneticamente modificados, há cerca de trinta e cinco anos, mais precisamente”.

Os avanços da biotecnologia propiciaram o desenvolvimento da genética genômica que visa ao estudo dos genes, de suas funções e interações simultâneas, apresentando, como objeto, traços e doenças poligênicas e multifatoriais, as quais envolvem uma interação entre os genes e desses com os fatores ambientais e não genéticos. Juntamente com isso, tais avanços trouxeram também discussões bioéticas que permeiam o uso de dados de sequenciamento de genes, especialmente no que concerne ao Projeto Genoma Humano (PGH) “um consórcio internacional de pesquisas liderado pelos Estados Unidos que se iniciou em 1990”. (CORRÊA, 2002, p. 279).

Considerações finais

Objetivamos, neste trabalho, examinar um caso concreto: a elucidação da dupla hélice do DNA, bem como compreender esse processo histórico pelas lentes da epistemologia de Kuhn. Nesse sentido, estamos certos de que nosso caminho não é o único, haja vista que outras epistemologias (como a de Popper, Feyerabend ou Fleck) também pudessem, e muito, auxiliar na compreensão da história recontada.

As proposições aqui delineadas nos levam ao campo da história e da filosofia da ciência. Nesse sentido, a explicação de conteúdos biológicos é facilitada quando elementos desse campo se fazem presentes, pois proporcionam ao processo de ensino e aprendizagem um viés que não inicia e finda em um conceito, mas o apresenta ligado ao seu contexto de origem, esse, muitas vezes, envolve contradição e disputa. A contextualização histórica pode levar aqueles que se envolvem no processo de apropriação de conteúdos a uma compreensão mais coerente, menos linear e cumulativa da construção do conhecimento científico. Assim, a dinamicidade da ciência se mostra presente, rejeita-se a ideia do dado pronto e se valoriza o processo no qual o conhecimento foi construído.

A partir das argumentações situadas à luz da epistemologia kuhniana, enfatizamos a importância de se discutir o contexto: história e filosofia das ciências em abordagens teórico-conceituais na formação e com profissionais

das áreas científicas. Na perspectiva da formação de professores, essa inserção torna-se ainda mais relevante, pois os futuros professores de ciências, compreendendo a não linearidade do desenvolvimento da ciência bem como o fato de que as teorias são construídas por homens que trazem, em sua história, vaidades, paixões, competições, etc., podem entender e propagar que a ciência não se configura como verdade absoluta, mas se estrutura na dinamicidade dos processos de busca do conhecimento.

Salientamos que a escolha de Kuhn para fazer uma releitura da história da elaboração do modelo de DNA pode ser adequada, pois muitos dos conceitos propostos por ele puderam ser vistos na história contada. No entanto, propomos que esse seja um exercício de reflexão considerando-se que visitar a história da ciência, a partir das perspectivas epistemológicas de outros teóricos, pode propiciar aos sujeitos novos olhares em um devir que descortine conceitos construídos de maneira dinâmica por homens e mulheres que, entre ives e vires, dão significado aos fenômenos que nos rodeiam.

Referências

- ALMEIDA, D. F. Genomas: projetos, realizações e sonhos. *Pesquisa FAPESP*, n. 48, p. 7, nov. 1999.
- BORGES, R. M. R. *Em debate: cientificidade e educação em ciência*. Porto Alegre: Edipucrs, 2007.
- CORRÊA, M. V. O admirável Projeto Genoma Humano. *PHYSIS – Revista de Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 277-299, 2002.
- DELIZOICOV, N. C. Ensino do sistema sanguíneo humano: a dimensão histórico-epistemológica. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 265-286.
- FERRARI, N.; SCHEID, N. M. J. História do DNA e educação científica. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 287-303.
- FURIÓ-MÁS, C.; FURIÓ-GOMEZ, C.; SOLBES-MATARREDONA, J. Profundizando en la educación científica: aspectos epistemológicos y metodológicos a tener en cuenta en la enseñanza. *Educar em Revista*, n. 44, p. 37-57, 2012.

GRIFFITH, A. J. F.; WESSLER, S. R.; CARROLL, S.B.; DOEBLEY, J. *Introdução à genética*. Trad. de Paulo Armando Motta. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

HEL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 3-21.

JACOBINA, R. R. O paradigma da epistemologia histórica: a contribuição de Thomas Kuhn. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 6, n. 3, p. 609-630, 2000.

JUSTINA, L. A. D.; FERRARI, N.; ROSA, V. L. 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.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2009.

MAYR, E. *Isto é biologia*: a ciência do mundo vivo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico*: diversidade, evolução e herança. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

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

NUNES, L. R.; OLIVEIRA, R. C. Replicação do DNA. In: EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. *O que é vida?*: para entender a biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2000.

OLIVA, A. O relativismo de Kuhn é derivado da história da ciência ou é uma filosofia aplicada à ciência? *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 561-92, 2012.

OLIVEIRA, T. H. G.; SANTOS, N. F.; BELTRAMINI, L. M. O DNA: uma sinopse histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular*, v. 1, p. 1-16, 2004.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, p. 184-196, 1996.

PACHECO, J. Dois mil e catarse. *Revista Educação*, São Paulo: Segmento, 2014.

RESTA, M. S. A.; ELISBÃO, T. Alimentos transgênicos: aspectos étnicos, nutricionais e de segurança alimentar para o consumidor. *Terra e Cultura*, v. 21, n. 40, p. 11-28, 2005.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 223-233, 2005.

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

VIEIRA, J. G. S.; FERNÁNDEZ, R. G. A estrutura das revoluções científicas na economia e a revolução keynesiana. *Est. Econ.*, v. 36, n. 2, p. 355-381, 2006.

WATSON, J. D. *A dupla hélice: como descobri a estrutura do DNA*. Rio de Janeiro: Zahar, 2014.

Submetido em 26 de março de 2017.

Aprovado em 31 de julho de 2017.