

O modelo de DNA e a Biologia Molecular: inserção histórica para o Ensino de Biologia

Mariana Ap. Bologna Soares de Andrade *

Ana Maria de Andrade Caldeira #

Resumo: O desenvolvimento do conhecimento científico caracteriza-se, na maioria das vezes, por processos de trabalhos coletivos entre os pesquisadores. Um dos caminhos que pesquisadores utilizam para explicar fenômenos é a elaboração de modelos teóricos de estruturas e funções. O modelo da molécula de DNA elaborado por Watson e Crick foi significativo para o desenvolvimento de pesquisas na área da Biologia Molecular. Neste trabalho, apresentamos, em um texto para alunos do Ensino Médio, o processo de construção desse modelo e os principais trabalhos de outros autores que contribuíram para que a dupla de pesquisadores elaborasse o modelo final. No texto do professor discutimos, de forma mais aprofundada, alguns conceitos de cristalografia e da história da biologia molecular e, também, sobre construção de modelos e a utilização desses elementos no Ensino de Ciências.

Palavras-chave: ensino de Biologia; história da biologia; modelo da molécula de DNA.

The DNA model and the molecular biology: historical insertion to biology teaching

Abstract: The development of scientific knowledge is characterized most often by the processes of collective work among researchers. One usual ways researchers take to explain phenomena is developing theoretical models of structures and functions. The DNA molecular model elaborated by Watson and Crick was significant to the Molecular Biology research development. In this work we present in a high school text the construction process of this model and the main work from other researchers who have contributed to the couple to produce the

* Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e membro do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia – UNESP. Email: marianabologna@yahoo.com.br

Docente do Departamento de Educação e membro do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia – UNESP. Email: anacaldeira@fc.unesp.br

final model. In the teacher's text we discussed, in depth, some concepts of crystallography and the history of molecular biology, and also on construction of models and use these elements in the Science teaching.

Keywords: Biology teaching; History of Biology; DNA molecular model.

1 INTRODUÇÃO

Escrever um texto didático com o objetivo de abordar o desenvolvimento histórico de um determinado conceito científico não é tarefa fácil, pois, interpretações errôneas podem acarretar distorções na aprendizagem desses conceitos. Se o conceito científico a ser relatado envolve um conjunto grande de informações - como a participação de vários cientistas, correntes teóricas divergentes, especialidades distintas (química, física, biologia, cristalografia, etc.) e com um período de tempo, de aproximadamente 20 anos - é preciso estabelecer quais são os principais pontos a serem discutidos com os alunos para que a aprendizagem dos conceitos bem como da história da construção desse conhecimento ocorram de maneira a possibilitar que a aprendizagem ocorra de forma articulada e significativa.

O modelo da estrutura da molécula de DNA, elaborado por James Dewey Watson (1928-) e Francis Harry Compton Crick (1916-2004), é um dos mais conhecidos e utilizados no Ensino de Biologia. Esse modelo teve papel importante nos estudos do DNA e da hereditariedade e permitiram o desenvolvimento da Biologia Molecular, ocorrido a partir da segunda metade do século XX. A molécula de DNA presente no material genético traz as informações que orientam o desenvolvimento dos organismos vivos e, por isso, optamos pelo estudo desse modelo proposto em 1953: a construção da estrutura da molécula do ácido desoxirribonucléico (DNA) - a sigla do inglês *DesoxiriboNucleic Acid*.

A compreensão de modelos é um tema que recebe grande atenção nas pesquisas em Ensino de Ciências por fazer parte do cotidiano dos processos de ensino e aprendizagem. Nas discussões sobre modelos, costuma-se dividi-los em duas categorias: os modelos mentais e os modelos conceituais. Modelos mentais são representações pessoais, construídas mentalmente para a compreensão de um determinado fenômeno; já modelos conceituais são representações externas construídas por indivíduos ou coletividades de pesquisadores para facilitar a compreensão ou o ensino de

determinado fenômeno. Segundo alguns autores, os modelos mentais são representações do conhecimento implicitamente incompletas, imprecisas, instáveis, incoerentes com o conhecimento normativo em vários domínios. O modelo mental é, contudo, útil e pode ser considerado como um nível intermediário de análise de um fenômeno, anterior ao modelo conceitual. Os modelos conceituais são representações completas e precisas, coerentes com o conhecimento científico aceito (Greca & Moreira, 2000, p. 2-3; 5).

Compreender a forma (estrutura) e função (atividade) da molécula de DNA pode nos auxiliar a estudar questões fundamentais das Ciências Biológicas - ressaltamos, no entanto, que o processo de desenvolvimento dos organismos é um estudo complexo, que vai além do conhecimento sobre a estrutura de uma molécula. Assim, utilizar o modelo de DNA no Ensino de Biologia requer que se compreenda a necessidade de estabelecer relações entre os conhecimentos científicos que possibilitaram a elaboração do modelo para que a aprendizagem dos alunos ocorra, nas devidas proporções, pela reconstrução do pensamento dos cientistas.

Um dos objetivos deste texto é recuperar uma discussão presente no final dos anos 40 e início dos anos 50 do século XX, motivada pela idéia de que o entendimento das estruturas das macromoléculas poderia solucionar questões relacionadas com a vida dos organismos. Esse aspecto, responsável por desencadear uma série de pesquisas - entre elas a de Watson e Crick - não é frequentemente abordado nos livros didáticos de Biologia.

Percebemos que o modelo de DNA apresentado pelos livros didáticos elaborados para alunos do Ensino Médio, aparece de forma historicamente descontextualizada do conhecimento biológico. Apontam o modelo como sendo único e sem deixar claro que sua construção resultou de uma série de pesquisas anteriores. Priorizam o modelo e o modo como a informação é codificada, em detrimento de uma construção didática que possibilite aos alunos compreender quais foram os conhecimentos mobilizados pelos autores do modelo em seu processo de construção.

Em atividades didáticas a aprendizagem de modelos conceituais é efetiva quando o aluno compreende que por um conjunto de informações (conclusões de pesquisas) os cientistas estabelecem relações (constroem modelos mentais) que possibilitam construção de modelos conceituais. Para a aceitação dos modelos concei-

tuais, deve ser considerado se esses modelos se sustentam com base nos conceitos já aceitos pela comunidade científica.

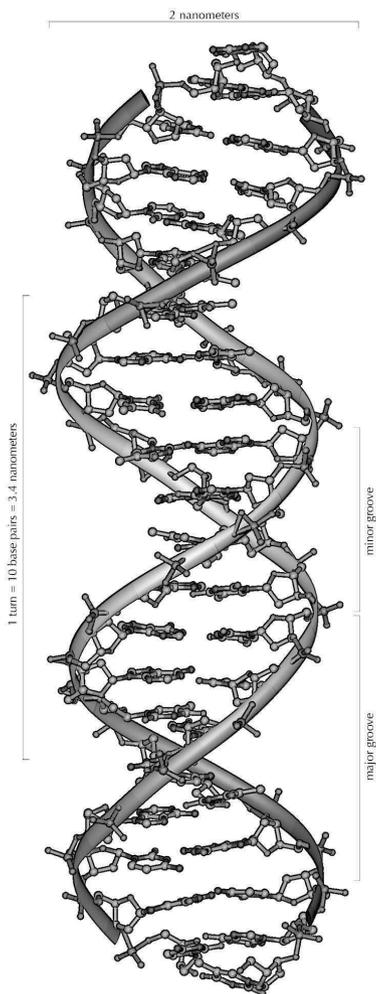


Figura 1. Modelo de parte da estrutura helicoidal de uma molécula de DNA. Imagem disponível em: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/DNA_Overview.png

A percepção desse movimento permite aos alunos aprender conceitos científicos e, também, a construção desses conceitos, possibilitando um processo de análise, síntese, re-análises e novas sínteses que o farão desenvolver habilidades do pensar que não são associadas só a esse grupo conceitual, mas que servirão de base para novas aprendizagens. Assim, reconstruir os processos da produção do conhecimento biológico, como por exemplo, a proposição do modelo da molécula do DNA, pode permitir aos alunos a compreensão dos conceitos envolvidos e o modo de fazer da ciência e do cientista. Ao recuperar os métodos de trabalho de um cientista, os alunos podem aprender o conhecimento propriamente dito e desenvolver habilidades do pensar lógico.

Para que esses objetivos se cumpram, é necessário articular os processos de ensino e aprendizagem. Optamos por produzir um texto para alunos do Ensino Médio, que possibilite a aprendizagem de processos e conceitos que fazem parte do conhecimento biológico, e outro complementar, para o professor, mediador do processo de ensino e aprendizagem.

2 O DNA E A BIOLOGIA MOLECULAR

Constantemente, ouvimos falar que nosso material genético é o DNA. Nos livros didáticos o encontramos representado, em ilustrações, por uma estrutura helicoidal, como na Figura 1.

Lemos e ouvimos que as pesquisas desenvolvidas na área da Biologia Molecular podem nos trazer respostas para diversos aspectos dos organismos vivos como: desenvolvimento de doenças, clonagem, genoma etc. Por que essa molécula, o DNA, é tão importante? Por que a sua descrição trouxe tantos avanços ao desenvolvimento científico? E ainda, de que forma as pesquisas sobre nosso material genético foram possíveis?

Para começarmos, observe os exemplares de seres vivos representados na Figura 2. Podemos tentar estabelecer relações entre a Figura 1 e a Figura 2? Na Figura 2, todos representam seres vivos, mas, o que eles têm em comum? O que os diferencia? O que permite que eles apresentem um ciclo biológico como, nascer, crescer e morrer? Em síntese: como podemos explicar o que é vida? O que faz com que sejamos seres vivos, interagindo com outros seres e com o ambiente?



Figura 2: Exemplos de seres vivos

Essas perguntas podem ter sido formuladas por você, ainda que de outras formas, ao estudar ciências naturais e, particularmente, Biologia. Podemos dizer que, se compararmos os exemplares de seres vivos, eles apresentam características que os diferenciam. Mas sabemos, hoje, que no núcleo das células dos eucariontes ou no citoplasma dos procariontes estão presentes cromossomos compostos por ácidos nucléicos.

Nos dias atuais já há uma quantidade significativa de informações sobre como o DNA, cromossomos e genes, por processos de interações com outras estruturas dos organismos, expressam-se em características dos seres vivos. Entretanto, todas essas informações são possíveis porque estudos anteriores deram suporte para as pesquisas atuais.

2.1 Alguns estudos que antecederam o modelo de DNA

O que conhecemos hoje como DNA começou a ser estudado em 1869. Ao analisar uma amostra de pus, o bioquímico alemão Johann Friedrich Miescher (1844-1895) identificou uma nova substância ácida e denominou-a nucleína. Ela foi assim denominada porque era proveniente dos núcleos das células de glóbulos brancos presentes no pus. Em 1889, Richard Altmann (1852-1900) confirmou a natureza ácida do material e o denominou de ácido nucléico. Estudos posteriores, realizados em 1909 por Phoebis Levine (1869-1940) e Walter Jacobs (1883-1967), possibilitaram determinar a organização das moléculas de fosfato, do açúcar

e das bases nitrogenadas (adenina, guanina, citosina e timina) como sendo a unidade fundamental do ácido, o nucleotídeo. A figura 3 mostra a estrutura de um ácido nucléico e suas unidades, os nucleotídeos, como é conhecida atualmente:

A relação entre a molécula de DNA e a hereditariedade foi estabelecida nos anos 40 e 50 do século XX e um dos trabalhos que contribuíram para esclarecer a natureza química do material genético foi o de Oswald Avery (1877-1955), Colin MacLeod (1909-1972) e Maclyn MacCarty (1911-2005), publicado em 1944. Dúvidas acerca da aceitação dos resultados de Avery e colaboradores surgiram na época. Contudo, é provável que tenham despertado o interesse de outros pesquisadores em conhecer melhor a estrutura do DNA. Em 1951, o bioquímico austríaco Erwin Chargaff (1905-1992) constatou que a proporção entre as bases Adenina-Timina e Guanina-Citosina era sempre mantida no material genético.

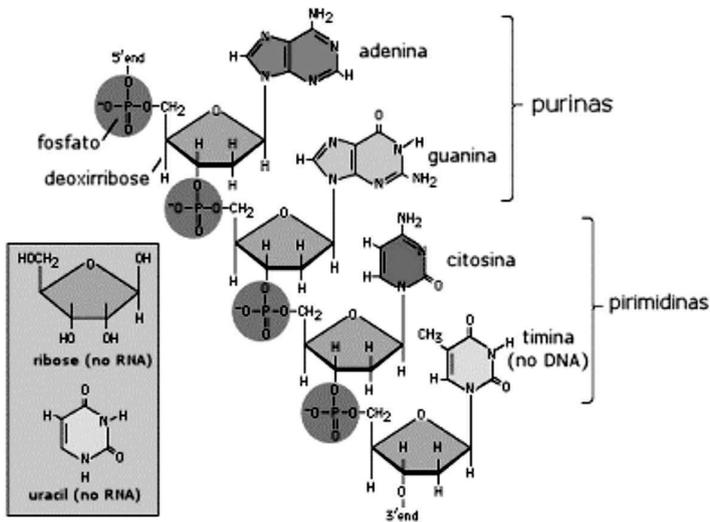


Figura 3. Os ácidos nucléicos são formados pelo encadeamento de nucleotídeos ligados por uma cadeia de açúcar e fosfato. Os nucleotídeos são compostos de uma pentose, um fosfato e base nitrogenada. A base nitrogenada pode ser do grupo das bases púricas (adenina e guanina) ou das pirimidícas (citosina, timina e uracila). Imagem disponível em: http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/imagens/vida_dna_bases.gif

As dúvidas anteriormente mencionadas parecem ter sido resolvidas com os trabalhos de Alfred Day Hershey (1908-1997) e Martha Chase (1907-2003), em 1952. Este trabalho envolvia experimentos com bacteriófagos marcados com elementos radioativos concluindo que o material genético era o DNA.

2.2 A construção do modelo da molécula de DNA

A proposição de um modelo que nos parece simples só é possível porque os investigadores mobilizam os conhecimentos já existentes, percebem quais são os principais pontos que são importantes e consistentes, levantam dúvidas, problemas, e propõem hipóteses para resolvê-las.

Retomando a questão da estrutura do DNA, o conjunto de informações que a comunidade científica dispunha até a década de 1950, permitiu-lhes conhecer, ainda que não totalmente, a composição química da molécula de DNA. Mas, de que modo o sal, a base e o açúcar, componentes da unidade básica do DNA, isto é, do nucleotídeo (Figura 3), se ligavam e formavam uma estrutura espacial, ainda era uma incógnita para os cientistas.



Figura 4. Francis Crick (esquerda) e James Watson (direita). Imagem disponível em:

<http://osulibrary.orst.edu/specialcollections/coll/pauling/dna/pictures/watsoncrick-walking.jpg>

A molécula de DNA, tal como é aceita atualmente, foi descrita em 1953 pelo biólogo James Dewey Watson e pelo físico e bioquímico Francis Harry Compton Crick, em um artigo publicado na Revista *Nature*. Os dois pesquisadores tiveram a oportunidade de trabalhar no mesmo laboratório em Cambridge, na Inglaterra, o *Cavendish Laboratory*.

No cenário das pesquisas referentes à elucidação do modelo de DNA, vários grupos estavam envolvidos: além do Cavendish, na Inglaterra, havia também o grupo do King's College, onde trabalhavam Maurice Wilkins (1916-2004) e Rosalind E. Franklin (1920-1958). Nos Estados Unidos, havia o grupo do Instituto de Tecnologia da Califórnia, conhecido como Caltech, onde trabalhava Linnus Pauling (1901-1994).

Para compreender como que essa estrutura chegou a ser proposta pela dupla precisamos olhar com mais detalhes o contexto em que as pesquisas sobre o modelo de DNA se desenvolveram. O interesse pelos estudos sobre os ácidos nucléicos iniciou-se logo após a Segunda Grande Guerra Mundial, quando a Sociedade Experimental de Biologia organizou, em julho de 1946, um simpósio em Cambridge, na Inglaterra, sobre o tema. Esse encontro desencadeou interesse de vários grupos de pesquisa que buscaram compreender a estrutura do material genético.

Naquela ocasião, William T. Astbury (1898-1961), que era físico e também biólogo, já apresentava suas idéias de que as seqüências das bases do DNA eram determinadas por arranjos químicos, ou geométricos ou, ainda, a combinação de ambos. Ele utilizava a difração de Raios-X para obter as imagens de moléculas de DNA e, por meio dessa técnica, propôs como seria a estrutura dos nucleotídeos com suas distâncias e ângulos. Apesar de seu trabalho não ter sido suficiente para elaborar um modelo, os diagramas construídos por ele mostravam um empilhamento de nucleotídeos, contribuindo para que outros cientistas construíssem seus modelos tridimensionais do DNA.

A tentativa de todos os interessados era buscar um modelo que pudesse explicar quais eram os pontos de união, formando ligações entre os nucleotídeos. O problema a ser resolvido era: como os nucleotídeos formados por uma base nitrogenada, uma molécula de açúcar e um grupo fosfato se ligavam em cadeias. Um

modelo consistente, com essas informações, poderia facilitar a compreensão da estrutura geral da molécula.

Entre os vários modelos propostos, e que Watson e Crick tiveram contato, está o do cristalógrafo Sven Furberg (1920-1983), que foi baseado no trabalho de Astbury. Neste modelo, o DNA era caracterizado por uma única hélice de nucleotídeos empilhados e com anéis de açúcar, que mostravam as imagens do material que ele tinha conseguido pela análise cristalográfica. Entretanto, os dados mais importantes do trabalho – e que chamaram a atenção de Watson quando ele assistiu à palestra de Furberg, em um Congresso em Nápoles, em 1951 – foram a disposição dos ângulos nos quais os nucleotídeos se apresentavam na molécula e a estrutura helicoidal da molécula.

No mesmo congresso, Wilkins apresentou o seu duplo objetivo de pesquisa sobre ácidos nucléicos: a estrutura e a orientação molecular de ácidos nucléicos estudados em preparados obtidos a partir de espermatozoides de moluscos do gênero *Sepia*. Essa palestra, ouvida por Watson, foi decisiva para a sua transferência de Copenhague para Cambridge. A partir de então ele inicia suas pesquisas relacionadas à estrutura do DNA.

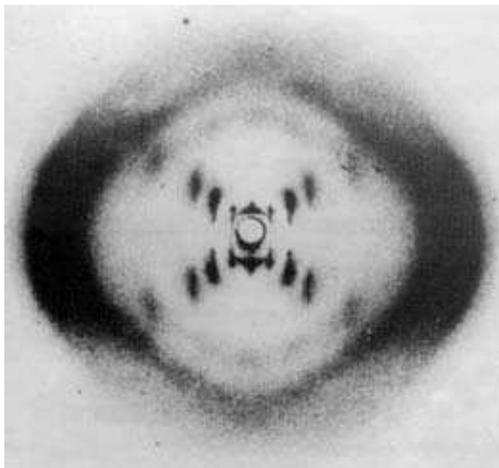


Figura 5: Imagem cristalográfica do cristal de DNA obtida por Rosalind Franklin. Imagem disponível em:

http://distancelearning.ksi.edu/demo/bio378/DNA_files/image009.jpg

Depois de assistir a uma palestra de Rosalind, Watson teve acesso às imagens que a pesquisadora obteve no laboratório e anotou vagamente os cálculos realizados por ela. Passou essas informações para Crick e, do conjunto de dados, Watson e Crick entenderam que tinham informações suficientes para apresentar um modelo de DNA. Contudo, ainda enfrentavam os seguintes problemas: decidir qual era o número de cadeias de polinucleotídeos dentro da molécula de DNA (os dados poderiam ser compatíveis com uma ou mais cadeias), saber exatamente os ângulos e como os filamentos de DNA se torciam em torno de um eixo central.

Em 1951, apresentaram o primeiro modelo, que era constituído de três cadeias. Naquela ocasião, Rosalind e Wilkins foram chamados para avaliar o modelo e descartaram a possibilidade de a molécula ter a forma helicoidal. Além disso, a composição química apresentava problemas, invalidando o modelo.

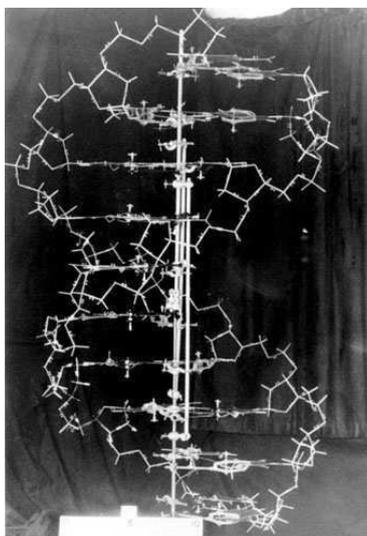
Watson se dedicou então às pesquisas sobre o vírus do mosaico do tabaco (VMT), que era composto de RNA em sua estrutura molecular. Ele entendia que se obtivesse algum resultado com suas pesquisas poderia, comparativamente, chegar ao DNA. Em seus estudos, Watson concluiu que o VMT possuía uma estrutura



Figura 6: Rosalind E. Franklin (1920-1958) e Maurice Wilkins (1916-2004). Imagem disponível em: http://distancelearning.ksi.edu/demo/bio378/DNA_files/image009.jpg

helicoidal. Isso fez com que ele procurasse Crick e desse novo ânimo à pesquisa sobre a estrutura do DNA. Associados a isso, começaram a discutir os dados que conheciam sobre as relações de base de Chargaff. Precisavam, também, solucionar um problema: como as bases púricas e pirimídicas se ligavam entre si e como essa ligação poderia dar sustentação ao modelo helicoidal?

Baseado também nos dados apresentados por Astbury, Pauling propôs um modelo de tripla hélice. Watson teve acesso a esse modelo no final de 1952 por meio de uma correspondência de Linus Pauling para seu próprio filho. Ao tomar conhecimento deste modelo, ainda a ser publicado, Watson se desapontou, achando que a estrutura do DNA já estava elucidada. Mas, ao detectar uma série de inconsistências na proposta de Pauling, ele retomou com ânimo suas pesquisas. Parece, então, que o modelo de Pauling serviu como elemento de acirramento na corrida pela publicação da estrutura do DNA.



(a)



(b)

Figura 7. (a) Modelo em metal elaborado por Watson e Crick. (b) Esquema do modelo de DNA publicado no texto de 1953 (Watson e Crick, p. 737, 1953)

Desta forma, Watson e Crick perceberam que um modelo de dupla-hélice seria mais consistente do que qualquer outro. Watson organizou o modelo das bases em papel e, com auxílio de Jerry Donohue (1920-1985)– que apresentou configurações de bases desconhecidas por Watson,– identificou quais formas bioquímicas das bases seriam mais apropriadas para a estrutura do DNA.

O novo modelo deveria, então, estar em acordo com os dados de Chargaff e, por meio de tentativas e erros, Watson percebeu que poderia unir adenina com timina e citosina com guanina. Essas proporções, descritas por Chargaff, correspondiam exatamente a esse emparelhamento.

As imagens de cristalografia de Rosalind e os cálculos realizados por Wilkins foram determinantes para embasar os autores. Assim como Astbury e Furberg, Rosalind e Wilkins também trabalhavam com difração de Raios-X.

Watson e Crick confeccionaram um modelo em metal (figura 7a) e chamaram Wilkins e Rosalind para avaliá-lo, e estes concordaram com a estrutura proposta. Decidiram então enviar a publicação para a revista *Nature*, citando os principais dados e autores que ajudaram nessa construção. Além disso, foi decidido, também, que Wilkins e auxiliares, bem como, Rosalind Franklin e Raymond G. Gosling (1926 -) mandariam também artigos independentes, com os dados experimentais de difração que sustentavam o modelo. Os artigos foram publicados no volume 171 da revista *Nature*, de abril de 1953.

Ao declararem que o modelo proposto (Figura 7b) era *radicalmente diferente*, eles pretendiam enfatizar a vantagem que a dupla-hélice apresentava em relação às demais. Salientamos, no entanto, que mesmo a proposta sendo original, ela é resultado do aprendizado dos dois com as tentativas, sem sucesso, de outros autores e dos dados de cristalografia produzidos por Wilkins e Franklin.

A repercussão do modelo na comunidade científica não foi imediata. Os cientistas consideravam o modelo muito simples e teórico. Somente no final da década de 50, e início da década de 60 seu potencial para interpretar outras dúvidas em Biologia Molecular passou a ser considerado.

Crick continuou seus trabalhos de Biologia Molecular com estudos sobre a natureza do código genético e faleceu em 28 de julho de 2008. Watson dedicou-se a produção de material didático

sobre Biologia Molecular e a gerenciar projetos de pesquisa na mesma área.

Sabemos hoje que os ácidos nucléicos carregam a informação genética e, por meio dela, os organismos apresentam o padrão de sua espécie, com graus de variabilidade e que os genes regulam as funções biológicas. Não sabemos ainda quais são todos os caminhos ou vias bioquímicas por meio das quais esses genes se expressam. É importante salientar que hoje avançamos para entender a vida como um fenômeno complexo, que não se reduz à discussão sobre o modo como as moléculas constituem os genes. Além disso, as pesquisas voltam-se para tentar trabalhar com múltiplas variáveis que afetam a vida dos seres vivos. Convidamos você a estudar Biologia e, quem sabe, no futuro, você poderá ser um dos pesquisadores estimulados a buscar elementos para responder o que é vida!

3 TEXTO COMPLEMENTAR PARA O PROFESSOR

A introdução dos estudos moleculares sobre o DNA em livros do Ensino Médio ocorre, de maneira geral, na unidade de Citologia. Essa opção deve-se talvez à falta de uma seção específica, pois a constituição da Biologia Molecular, bem como os trabalhos significativos que contribuíram para a sua consolidação, não têm sido descritos nos livros didáticos do Ensino Médio.

Os livros didáticos, em geral, são organizados em seções que contêm as áreas clássicas do conhecimento biológico. Essas unidades estudam forma e função dos seres vivos, bem como sua história natural. Porém, no campo da biologia molecular a integração entre morfologia e fisiologia acabou por fundir seus campos de investigação.

Tem-se, na origem dessa junção uma nova epistemologia biológica que, se não esclarecida e entendida, dificultará a compreensão de seus conceitos constituintes. Assim, podemos compreender que o objetivo da Biologia Molecular é apresentar como a estrutura genômica se expressa na estrutura funcional, que constitui os seres vivos. Desta forma, é preciso que, já no Ensino Médio, apresentem-se discussões que possibilitem compreender o percurso desta área.

No início do século XX vários campos de investigação biológica, particularmente a genética, a bioquímica e a fisiologia, bem como outras áreas como a física, convergiram em pesquisas que, até nos dias atuais, buscam explicar a complexidade com que ocorrem os fenômenos biológicos. Jacob afirma que essa articulação de áreas ocorreu, justificando que “não basta mais, por exemplo, estudar por um lado os genes, por outro as reações químicas e por outro os efeitos fisiológicos” (Jacob, 1983, p. 253). Para obter respostas sobre questões do conhecimento biológico, é preciso juntar esforços de várias áreas do conhecimento para estudar fenômenos emergentes que, separadamente, não se conseguiriam interpretar. Os diferentes inícios de capítulos que abordam o material genético em livros didáticos trazem como ponto de partida, a publicação, em 1953, do artigo de Watson e Crick que propõe o modelo da molécula de DNA. Os livros didáticos apresentam, apenas, o trabalho final que resultou no modelo da molécula de DNA tal qual a comunidade científica aceita até os dias atuais, ou seja, um modelo construído pela análise de diferentes cientistas e testado para ser apresentado a comunidade é inserido como mera ilustração.

Percebemos que os fatos históricos em que os caminhos, discussões e trabalhos paralelos (que são as características das produções científicas e, conseqüentemente, da construção de modelos) são deixados de lado, menosprezando a importância das correntes científicas divergentes e os debates ocorridos (Bastos, 1998).

Podemos definir a ciência como um processo de construção de modelos com distintas capacidades de previsão. Esta definição une os processos (de elaboração de modelos e de utilização dos mesmos como ferramentas do pensamento científico) e os produtos (modelos gerados por tais processos) da ciência. (Justi, 2006, p. 176).

Uma vez que se identifica a construção do modelo como um processo dinâmico da elaboração do conhecimento científico para explicar e prever fenômenos o aluno se apropria do caráter coletivo dos processos da ciência.

Nos livros didáticos há uma descaracterização dos processos pelos quais pesquisas significativas para uma determinada ciência

– na verdade, qualquer produção científica – percorrem para chegar as suas conclusões e apontamentos.

De maneira geral, encontramos nos textos didáticos, por exemplo, afirmações como: a descoberta da dupla hélice do DNA ocorreu em 1953, como sendo única do ponto de vista histórico para a compreensão desse modelo. Na produção de textos didáticos, a construção histórica desse modelo – considerado um divisor de águas para a Biologia Molecular – bem como os trabalhos de outros pesquisadores são desconsiderados.

Esse texto sobre o modelo da molécula de DNA não tem a pretensão de apresentar alguma discussão original sobre o processo histórico, mas trazer os principais fatos para que o aluno possa verificar:

1. estágio do desenvolvimento do conhecimento científico no início dos anos 50;
2. Como técnicas de pesquisa ajudam a produzir indicações que facilitam a interpretação de um fenômeno em estudo;
3. papel do modelo para facilitar a compreensão do fenômeno;
4. modelo como base para novas pesquisas;
5. Que a produção do conhecimento científico ocorra por meio de discussões sustentadas por evidências empíricas, ou por conclusões teóricas que sejam consensos entre eles;
6. Que a produção de algum conhecimento novo não é um processo individual, de um gênio recluso em seu laboratório e depende dos trabalhos anteriormente publicados sejam eles considerados bem ou mal sucedidos.

Para que esses objetivos possam ser alcançados de forma significativa na aprendizagem de conceitos científicos o texto elaborado para os alunos procurou mostrar como trabalhos de décadas anteriores bem como contemporâneos às pesquisas de Watson e Crick foram primordiais para que a dupla elaborasse um modelo conceitual do DNA.

A busca por aquilo que seria a vida e de que forma ela se desenvolve, sempre foi de interesse da comunidade científica. Nesse sentido, uma célebre pergunta foi sintetizada pelo físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) em 1944, no livro intitulado *O que é vida?* Ao publicar um livro com essa pergunta, Schrödinger buscou entender de que forma a vida pode ser considerada, e compreendida, como um fenômeno explicável pela ciência. Para o

autor, importantes características sobre como a vida poderia ser concebida, em termos de armazenagem e transmissão de informações biológicas, estaria em uma região específica da célula, o núcleo.

Esse livro influenciou as pesquisas de cientistas que se sentiram compelidos a buscar respostas fundamentadas em razões científicas dos processos dos seres vivos. Watson, em seu livro *DNA: o segredo da vida* (Watson, 2005) deixa explícita a influência desse livro nos trabalhos de muitos pesquisadores e no seu próprio. Esse livro é também citado por Robert Olby, influenciando as pesquisas sobre o material genético, pois, Schrödinger não aceitava que fenômenos biológicos fossem explicados com termos físicos, incitando a busca por leis próprias para a compreensão desse material e seus fenômenos (Olby, 1974). O ponto de partida foi procurar compreender a estrutura do material presente nesses cromossomos e suas partes componentes, sendo que o modelo do DNA possibilitou conhecer a estrutura (forma) dessa molécula e abriu caminhos para que outras pesquisas estudassem as funções do material genético.

Inicialmente no texto do aluno procuramos caracterizar os trabalhos e conhecimentos já existentes até o início da década de 1950 e que tiveram fundamental importância conceitual para que as pesquisas sobre a molécula se desenvolvessem. Os fatos científicos significativos que precedem os estudos sobre o modelo são:

- Miescher identifica o DNA;
- Altman confirma a natureza ácida da molécula;
- Levine e Jacobs concluíram que o componente básico dos ácidos nucléicos era uma estrutura composta por uma unidade que se constituía numa base nitrogenada ligada a uma pentose, e esta por sua vez, ligada a um fosfato. Esta unidade foi denominada de nucleotídeo;
- Avery, Macleod e McCarty esclarecem as dúvidas sobre a natureza química da molécula de DNA;
- Chargaff apresenta as proporções das bases púricas e pirimídicas na molécula;
- Hershey e Chase em pesquisa com material radioativo concluíram que o material genético era o DNA.

Essas pesquisas devem ser consideradas por serem significativas para todos os pesquisadores que estudavam a estrutura do DNA.

O início dos anos de 1950 foi para a Biologia um momento muito significativo, pois, a corrida para construir um modelo estrutural para a molécula de DNA se intensificou. Watson era um estudante norte americano que foi realizar um pós-doutorado em Copenhague. Ao perceber que seu interesse era pela estrutura da molécula de DNA¹ conseguiu uma transferência para o laboratório de Cambridge, o Cavendish, onde Crick já trabalhava. Lá, os pesquisadores se dedicavam a pesquisas físico-químicas das macromoléculas. Francis, que trabalhava no mesmo laboratório, realizava pesquisas sobre a estrutura da hemoglobina, visando concluir seu doutorado.

Logo os dois perceberam o interesse em comum em estudar a molécula de DNA e começaram a discutir sobre os achados de bioquímicos e físicos. Oficialmente, o objeto de pesquisa de Watson era aprender a técnica de cristalografia e, no caso de Francis, estudar a estrutura da hemoglobina. Contudo, seus reais interesses estavam na especulação teórica sobre a estrutura da molécula de DNA.

Outros dois laboratórios desenvolviam pesquisas com a molécula de DNA, o King's College em Londres onde trabalhavam Rosalind Franklin e Maurice Wilkins e o Caltech, na Califórnia, onde trabalhava Linus Pauling. Esses laboratórios bem como esses pesquisadores e suas pesquisas foram os trabalhos contemporâneos que tiveram maior influência para no trabalho de Watson e Crick.

Watson e Crick entraram em contato com modelos de DNA propostos por Sven Furberg, Bruce Fraser² (1924-) e o de Linus

¹ Watson estava em um congresso em Nápoles, em 1951, quando assistiu à palestra em que um pesquisador de cristalografia chamado Maurice Wilkins apresentava seus estudos radiográficos feito sobre o DNA. Wilkins trabalhava no *King's College* de Londres.

² A análise do DNA, por infravermelho, foi feita por Bruce Fraser e os resultados das imagens mostravam que as bases no DNA estão dispostas perpendicularmente ao eixo da molécula.

Pauling. Sabiam que outros grupos de investigadores também se dedicavam a esta tarefa. Entre eles, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin. Os modelos propostos por Furberg, Fraser e Pauling, as pesquisas de cristalografia de Rosalind e Wilkins deram a Watson e Crick a base de conhecimento para a elaboração do modelo.

Um dos primeiro modelos apresentados sobre a molécula de DNA foi o de Astbury. Nesse trabalho, o autor propõe que o arranjo do DNA deveria ser químico ou geométrico (ou os dois) e também já propunha distâncias e ângulos (que posteriormente foram recalculados) entre os nucleotídeos. Outro ponto importante do trabalho de Astbury é que ele apresenta, no seu modelo, um empilhamento dos nucleotídeos. Os dados de Astbury foram re-elaborados por Furberg que apresentou um modelo de DNA em formato helicoidal.

Além desses modelos Watson e Crick⁴ também citam o modelo de três cadeias proposto por Fraser. Esse modelo foi apenas citado pelos autores, mas não relatado por ser considerado inconsistente:

Em seu [Fraser] modelo os fosfatos estão do lado de fora e as bases pelo lado de dentro ligadas por pontes de hidrogênio. Esta estrutura tal como é descrita, não está bem definida, e por essa razão não comentaremos (Watson e Crick, 1953, p. 737).

Entretanto Watson e Crick ainda tinham dúvidas se a ligação das moléculas formava uma estrutura plana ou com ângulo (e qual ângulo) e se a estrutura possuía uma ou mais cadeias e, ainda, como propor uma estrutura que estivesse compatível com os dados já descritos por outros pesquisadores.

É nesse ponto que se deve salientar, para os alunos a importância dos dados de pesquisas de Rosalind, Wilkins, Linus Pauling e Donohue para que Watson e Crick chegassem ao seu modelo de DNA.

Nota-se, pelos modelos de Astbury, Furberg e Fraser e posteriormente pelos de Rosalind, Wilkins e Pauling, o papel funda-

⁴ As citações do artigo de Watson e Crick apresentadas nesse texto foram retiradas do livro *A dupla hélice*, escrito por Watson, que apresentada a tradução integral do artigo de 1953.

mental que as pesquisas em cristalografia tiveram na construção dos modelos.

As informações do trabalho de cristalografia de Rosalind contribuíram de forma significativa para Watson e Crick por: demonstrar que a molécula de DNA possuía dois estados; definir os dois estados, bem como sugerir que os grupos fosfatos estavam na parte externa da molécula e que a estrutura helicoidal deveria ter mais de uma cadeia.

Como as imagens de cristalografia e suas interpretações foram primordiais para a construção do modelo de Watson e Crick, ressaltamos que essas imagens não são imagens de simples interpretação. De forma resumida podemos compreender a técnica de Cristalografia por Raio X ou infra-vermelho, segundo Carmelo Giacovazzo, como a análise de imagens feitas de cristais (DNA, proteínas) (Giacovazzo, 2002). Os dados obtidos através de experimentos de difração consistem apenas na intensidade dos feixes difratados, a partir do qual pode-se obter a amplitude de fatores da estrutura. Sendo que, depois de definidas, essas estruturas são organizadas e processadas em uma matriz que possibilita o estabelecimento da posição dos átomos nas moléculas. Atualmente o processo de análise de cristais é feito por computadores, entretanto nas pesquisas realizadas pelos cristalógrafos citados nesse trabalho, as análises e os cálculos eram feitos pelos próprios pesquisadores.

A técnica de cristalografia é utilizada para obter imagens de macromoléculas como proteínas, ácidos nucléicos e carboidratos. Essas imagens possibilitam a elaboração de modelos dessas estruturas, assim,

Compreender exatamente como um cristalógrafo obtém modelos de moléculas de proteína [ou outra macromolécula] por medidas de difração é essencial para compreender, por completo, como se usa esses modelos. (Rhodes, 1993, p. 8)

A técnica de cristalografia, segundo Rhodes (1993), utiliza:

- Cristais: Em certas circunstâncias muitas substâncias se solidificam e formam cristais, ao entrarem em estado de cristal essas moléculas adotam uma ou poucas orientações formando um cristal tridimensional unido por ligações não covalentes. Essas estruturas representam a menor e mais simples unidade da molécula e

que, por meio da técnica de cristalografia, pode-se obter nuvens de elétrons que circundam essa unidade (o que aparece nas imagens de cristalografia).

- Imagens por raio-X: Para coletar imagens, um cristal é colocado entre uma fonte de raio-X e um detector (um filme de raio-X) como mostra a figura 8. O filme quando revelado exhibe pontos – que são os pontos onde os raios incidiram no filme. Esses pontos são chamados de reflexo. São essas as informações que vemos nas imagens de DNA de Rosalind.

A partir dessa imagem, um scanner mede a posição e a intensidade de cada reflexo e transmite essa informação para um computador. A posição de um reflexo pode ser usada para obter a direção na qual um raio foi difratado pelo cristal. A intensidade do reflexo é obtida pela medida da absorção dos pontos no filme dando a medida do raio que sofreu difração.

Olhando para a figura 8 nota-se que apenas um plano da estrutura aparece no filme. Para obter medidas de direção e intensidade de uma estrutura tridimensional como a molécula de DNA,

O cristalógrafo deve coletar padrões de difração de todas as orientações de um cristal em relação aos raios. O resultado direto de dados de cristalografia é uma lista de intensidades para cada ponto da estrutura tri-dimensional. Esses dados são a matéria bruta para determinar a estrutura das moléculas no cristal (Rhodes, 1993, p. 17).

Os dados são convertidos, por meio de equações matemáticas, e reconstruídos por computadores que tratam os reflexos como ondas e recombina essas ondas para produzir uma imagem da molécula (ou um mapa de elétron-densidade).

O cristalógrafo interpreta um mapa exibindo-o em um gráfico de computador e construindo um modelo gráfico. Com esse modelo em mãos, o cristalógrafo pode começar a explorar o modelo para buscar pistas sobre seu funcionamento (Rhodes, 1993).

Assim, a foto de cristalografia do DNA feita por Rosalind, e que pode ser encontrada em alguns livros didáticos, não deve ser apresentada como uma foto de simples interpretação. Deve-se discutir com os alunos que essa figura, por meio de cálculos matemáticos, é interpretada e traduzida em um gráfico que possibilita estabelecer a posição de átomos e moléculas da estrutura.

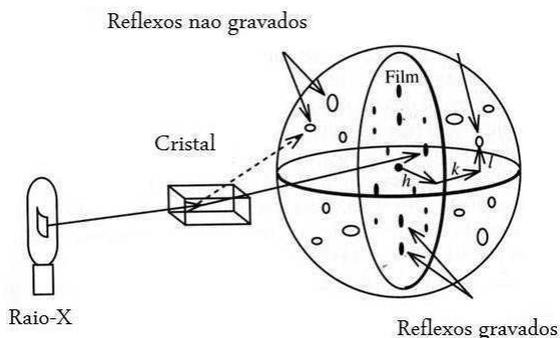


Figura 8. Esquema de coleta de imagens pela técnica de cristalografia (Rhodes, 1993, p. 17).

Os outros modelos citados no texto (Furberg, Astbury e Fraser) não foram apresentados no texto do aluno, pois não são modelos estruturais da molécula de DNA e, sim, gráficos com os dados de distâncias e posição das moléculas e, desta forma, ficariam além dos propósitos do conteúdo para alunos do Ensino Médio.

Assim como os trabalhos de Rosalind, outro trabalho paralelo que deu informações essenciais para a elaboração do modelo foi o trabalho de Linus Pauling. Pauling, dentre os pesquisadores citados no trabalho de 1953, foi quem elaborou um modelo estrutural da molécula de DNA. Esse modelo foi tido como consistente por Pauling por dois motivos: pelas distâncias de Van der Waals que foram consideradas satisfatórias e pela presença de forças covalentes. Entretanto esses dados foram considerados não satisfatórios por Watson e Crick, pois, no modelo de tripla-hélice elaborado por Pauling as bases nitrogenadas estariam livres na parte externa, dando ao ácido características básicas, e os fosfatos que, ao ocuparem o interior da molécula, sofreriam a repulsão de suas cargas como explicam Watson e Crick no artigo de 1953:

A estrutura do ácido nucléico já havia sido proposta por Pauling e Corey. Eles gentilmente disponibilizaram seu manuscrito para nós antes da publicação. O modelo deles consiste em três cadeias entrelaçadas, com os fosfatos perto do eixo da fibra e as bases do lado de fora. Em nossa opinião, esta estrutura é insatisfatória por duas razões: nós acreditamos que o material que dá os diagramas dos raios-X é o sal, não o ácido livre. Sem os átomos de hidrogê-

nio, não está claro qual forças poderiam segurar as estruturas juntas, especialmente as cargas de fosfato negativas que estão perto do eixo e irão repelir-se. Algumas das distâncias Van der Waals aparentam ser muito pequenas (Watson & Crick 1953, p. 737).

O modelo desenvolvido por Pauling, apesar de apresentar inconsistências, tinha informações que foram levadas em consideração por Watson e Crick: que a molécula não teria apenas uma cadeia e que a molécula tinha uma estrutura helicoidal.

Por volta de 1950, já havia muitos autores que trabalhavam com modelos de fibras em forma de hélice, mas foi Linus Pauling quem popularizou entre os cientistas os modelos helicoidais.

Por fim, salientamos ainda que a construção do modelo da molécula de DNA por Watson e Crick foi possível por meio da contribuição de Donohue que apresentou à dupla de cientistas as formas estruturais corretas das bases nitrogenadas (Olby, 1974). “Devemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos e críticas, em especial no que diz respeito às distâncias interatômicas” (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Ao comentarem sobre o modelo proposto, no início de seu artigo, Watson e Crick, ressaltaram: “Desejamos propor uma estrutura radicalmente diferente para o sal do ácido desoxirribonucléico. Essa estrutura possui duas cadeias helicoidais enroladas em volta do mesmo eixo” (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Por meio de um processo de buscas por informações, contestações de dados de outras pesquisas, elaboração de hipóteses, discussões e argumentações e depois de terem construído um modelo concreto, de metal, para apresentarem os dados para outros pesquisadores, Watson e Crick chegaram à descrição do modelo de molécula de DNA:

Ao longo de cada cadeia encontra-se um resíduo cada 3,4 Å, na direção Z. Pensamos num ângulo de 36° entre os resíduos adjacentes sobre a mesma cadeia, de maneira que a estrutura é repetitiva depois de 10 resíduos, isto é, depois de 34 Å. [...] A característica inovadora da estrutura é a maneira segundo a qual as duas cadeias estão unidas pelas bases de purinas e pirimidinas. Os planos das bases são perpendiculares ao eixo da fibra. Elas estão ligadas duas a duas, a base de uma cadeia unida por uma ligação de hidrogênio a uma base da outra cadeia, de forma que as duas este-

jam lado a lado com coordenadas Z idênticas (Watson & Crick, 1953, p. 737).

Assim, ao apresentar a construção de um modelo aceito pela ciência, pode-se caracterizar o contínuo da construção do conhecimento científico, valorizando seus principais personagens – chamamos de principais pelo fato de serem reconhecidos não só pela comunidade científica como Watson, Crick e Wilkins, mas, também, por serem mais conhecidos devido a terem recebido o prêmio Nobel – e, principalmente, valorizando a participação de pesquisadores menos conhecidos pelos alunos, mas de importância fundamental no desenvolvimento de todo conhecimento científico.

4 MAS COMO TRABALHAR DIDATICAMENTE COM O TEXTO SUGERIDO?

Pensamos que o professor poderá:

1. Primeiramente, levantar as concepções dos alunos sobre como os cientistas trabalham. Provavelmente vão surgir idéias estereotipadas sobre o cientista, de avental branco, em um laboratório, o caráter solitário de seu trabalho, em busca do conhecimento, e acima de qualquer sentimento que não seja bom;
2. Realizar, então, o estudo do texto, procurando elucidar conceitos que os alunos não conhecem e garantindo a compreensão das articulações que o texto propõe;
3. Solicitar que os alunos levantem questões sobre o texto e garantir uma discussão clara sobre o mesmo;
4. Elaborar um roteiro para que os alunos possam fazer uma descrição do trabalho de pesquisa desenvolvido. Por exemplo: A) Quais eram os modelos sobre a molécula de DNA que os pesquisadores dispunham até 1953? B) Quais eram os problemas que esses modelos apresentavam para terem sido considerados insatisfatórios pela comunidade científica da época? C) Em que o modelo de Watson e Crick avançou em relação aos anteriores? D) Quais foram os resultados obtidos por outros pesquisadores que foram fundamentais para o estudo teórico de Watson e Crick? E) Qual foi a importância do modelo para a continuidade das pesquisas?
5. Propor aos alunos que expressem suas considerações sobre o potencial heurístico do modelo;

6. Por fim, sugerimos que as questões apresentadas pelos alunos sirvam de continuidade para outras seqüências didáticas que o professor elaborar.

A inserção de um texto que aborde didaticamente a história de um tema exemplifica um trabalho interdisciplinar, ainda que, nesse caso, não tenha sido intencional dos cientistas. É possível verificar que Watson e Crick recorreram a várias áreas do conhecimento para resolver o problema que se propuseram a solucionar.

Outro ponto que queremos ressaltar, neste artigo, é a importância que o papel da história da ciência tem para o ensino. Isso possibilita aos alunos compreender que o processo de construção do conhecimento científico ocorre por meio de discussões entre cientistas, além de perceber qual o papel que diferentes linhas e áreas de pesquisa têm no desenvolvimento científico. Propicia também a percepção do caráter dinâmico da ciência, ou seja, da ciência como algo questionável, possível de mudar seus paradigmas, de seguir mais de um caminho. A inserção da história da ciência possibilita uma melhor compreensão dos conceitos e métodos científicos, supera o cientificismo e o dogmatismo que são encontrados em textos de ciências e possibilita a compreensão da natureza da ciência (Mathews, 1994).

Como salientamos anteriormente, a utilização de um modelo é um recurso para a compreensão de determinado fenômeno biológico. As pesquisas sobre ensino de ciências indicam que, frequentemente, os alunos apreendem o modelo, mas não conseguem fazer a devida interpretação do fenômeno. O professor precisa assegurar, por meio de avaliações constantes, se realmente o modelo auxiliou a transposição didática para o ensino e a aprendizagem em questão.

Desta forma, com objetivos didáticos, procuramos apresentar os acontecimentos históricos, bem como as discussões teóricas e os trabalhos de pesquisa que contribuíram para que Watson e Crick propusessem o modelo da Dupla Hélice do DNA. E também por meio desse texto, contextualizar a natureza do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVERY, Oswald Theodore; MACLEOD, Colin Munro; MCCARTY, Maclyn. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *The Journal of Experimental Medicine* **98**: 137-158, 1944.
- BASTOS, Fernando. História da ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. Pp. 43-52, *in*: NARDI, Roberto (org). *Questões atuais em ensino de ciências*. São Paulo: Escrituras, 1998.
- FRANKLIN, Rosalind E.; GOSLING, Raymond G. Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate *Nature* **171** (April, 25): 740, 1953.
- FURBERG, Sven. On the structure of nucleic acids. *Acta Chemica Scandinavica* **6**: 634-640, 1952.
- GIACOVAZZO, Carmelo. *Fundamentals of Crystallography*, 2 ed. New York: IUCr / Oxford Science Publication, 2002.
- GRECA, Ileana María; MOREIRA, Marco Antonio. Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education* **22** (1): 1-11, 2000.
- JACOB, François. *A lógica da vida: uma história da hereditariedade*. Trad. de Ângela Loureiro de Souza. Rio de Janeiro: Graal, 1983.
- JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias* **24** (2): 173-184, 2006.
- MATHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. London: Routledge, 1994.
- OLBY, Robert. *The path to the double helix: the discovery of the DNA*. Seattle: University of Washington Press, 1974.
- RHODES, Gales. *Crystallography made crystal clear: a guide for users of macromolecular models*. London: Academic Press, 1993.
- SILVA, Marcos Rodrigues da. Rosalind Franklin e seu papel na construção do modelo da dupla-hélice do DNA. Pp. 297-310, *in*: MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; PRESTES, Maria Elíce Brzezinski; STEFANO, Waldir; Martins, Roberto de Andrade (orgs) *Filosofia e história da Biologia 2*. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa – MackPesquisa; Livraria da física, 2007.

- WATSON, James Dewey. *A dupla hélice*. Trad. Rui Pedro Alves Zambujal. 3. ed. Lisboa: Gradiva, 2003.
- . *DNA: o segredo da vida*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- WATSON, James Dewey; CRICK, Francis Harry Compton. Molecular structure of nucleic acids: A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature* **171**: 737-738, 1953.
- WILKINS, Maurice Hugh Frederick; STOKES, Alex R.; WILSON, Herbert R. Molecular structure of desoxyribose nucleic acids. *Nature* **171**: 739-740, 1953.