



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VIVIANE LOIOLA DA VISITAÇÃO

**O EPISÓDIO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DUPLA
HÉLICE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA PNLD/2012**

VIVIANE LOIOLA DA VISITAÇÃO

**O EPISÓDIO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DUPLA
HÉLICE NOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA PNLD/2012**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva.

Londrina
2013

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

V831e	Visitação, Viviane Loiola da. O episódio da construção do modelo de dupla hélice nos livros didáticos de biologia PNLD/2012 / Viviane Loiola da Visitação. – Londrina, 2013. 71 f. : il. Orientador: Marcos Rodrigues da Silva. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2013. Inclui bibliografia. 1. Biologia – Estudo e ensino – Teses. 2. DNA – Formação de conceitos – Teses. 3. Biologia (Ensino médio) – Livros didáticos – Teses. 4. Ciência – História – Teses. I. Silva, Marcos Rodrigues da. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título. CDU 574:37.02
-------	---

VIVIANE LOIOLA DA VISITAÇÃO

**O EPISÓDIO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DUPLA HÉLICE
NOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA PNL D/2012**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva
UEL – Londrina – PR

Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes
USP – São Paulo – SP

Profa. Dra. Mariana A. B. Soares de Andrade
UEL – Londrina – PR

Londrina, 02 de setembro de 2013.

Dedico este trabalho a todos que eu amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me capacitado para concluir este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Rodrigues da Silva por ter confiado em mim para desenvolver esta pesquisa e por suas orientações e esclarecimentos que possibilitaram a elaboração deste trabalho.

Sou muito grata à banca examinadora, composta pela Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes e pela Profa. Dr. Mariana A. B. S. de Andrade, por aceitarem o meu convite e por suas valiosas contribuições na qualificação.

Agradeço também à Profa. Dra. Irinéia de Loudes Batista e à Profa. Dra. Regina Luzia Corio de Buriasco pelas suas relevantes sugestões dadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Sou grata à minha família por todo apoio e compreensão dados nesta etapa da minha vida.

Agradeço também ao meu noivo, Fernando, que sempre me incentivou nos momentos difíceis e por ter compreendido os vários momentos que estive ausente para o desenvolvimento deste trabalho.

VISITAÇÃO, V. L. **O episódio da construção do modelo de dupla hélice nos livros didáticos de biologia PNLD/2012**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2013.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo investigar quais concepções de natureza da ciência (NdC) os livros didáticos de biologia veiculam. Assim, para o desenvolvimento desta proposta optamos por investigar alguns momentos da construção do modelo da dupla hélice do DNA, de autoria de Watson e Crick, presentes nos livros didáticos de biologia aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012. É comum a afirmação de que muitas vezes as narrativas históricas dos livros didáticos não contribuem para uma compreensão histórica dos conceitos científicos (tais como o de dupla hélice). Desse modo, optamos por seguir a orientação dos artigos de Rosa e Silva (2010) e Zamberlan e Silva (2011), os quais apontam para a exploração das potencialidades das narrativas históricas abertas pelos livros didáticos. Com isso, neste trabalho, buscamos reconstruir, a partir de fontes secundárias, alguns episódios da história da dupla hélice e, com base em algumas perguntas sobre a forma de ocorrência desta história, analisamos a história da ciência apresentada nos livros didáticos de biologia do Ensino Médio, assim como mostramos as potencialidades e os problemas dessas narrativas. Com a análise das narrativas históricas observamos que, apesar de os livros didáticos de biologia PNLD/2012 apresentarem informações importantes acerca desse episódio da história da biologia, eles veicularam algumas concepções inapropriadas de NdC.

Palavras-chave: Natureza da ciência. História e filosofia da ciência. Dupla hélice. Livros didáticos.

VISITAÇÃO, V. L. **The episode of the construction of the double helix model in biology textbooks PNLD/2012.** 2013. 71 p. Dissertation (Master's Degree in Teaching of Sciences and Mathematical Education) – State University of Londrina, Londrina. 2013.

ABSTRACT

This essay aims to study which conceptions of nature of science (NOS) Biology booktexts convey. Thus, for the development of this approach we chose to investigate some moments concerning the proposal of double-helix model of DNA, by Watson and Crick, which are presented in biology textbooks approved by the National Textbook Program (PNLD) from 2012. It is a common assertion that historical narratives of the textbooks do not often contribute to the historical understanding of scientific concepts (such as the double-helix). Thereby, we decided to follow the orientation in Rosa and Silva (2010) and Zamberlan and Silva's (2011) articles, which point to the exploration of the potentialities of historical narratives found in these textbooks. Therefore, in this study, we intent to rebuild, up to secondary sources, some episodes about the double-helix history, and based on some questions about the way this historical base occurred, we analyze the history of science that is presented in high school biology textbooks and we also show the potentialities and the problems of these narratives. In summary, with the analysis of those historical narratives we observed that despite the biology textbooks from PNLD/2012 present important information about this episode in the biology history, they communicate some inappropriate approaches about the NOS.

Key-words: Science nature. History and philosophy of science. Double helix. Textbooks.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Livros didáticos de biologia analisados.....	41
Quadro 2 – Relação entre os conhecimentos anteriores fundamentais para a construção do modelo e os livros didáticos de biologia PNLD/2012.	51
Quadro 3 – Relação entre os livros didáticos e o modo de apresentação dos cientistas nas narrativas históricas	55
Quadro 4 – Aspectos relacionados ao contexto científico da época nos livros didáticos de biologia PNLD/2012.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNE	Conselho Nacional de Educação
CNLD	Comissão Nacional do Livro Didático
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
DNA	Ácido desoxirribonucleico
HFC	História e Filosofia da Ciência
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
LDB	Lei de Diretrizes e Bases
MRC	Medical Research Council
NdC	Natureza da Ciência
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PGH	Projeto Genoma Humano
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS	16
1.1 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS	16
1.1.1 História e Filosofia da Ciência: Aspectos Conceituais	16
1.1.2 Abordagens de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências	20
1.2 NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS	23
1.2.1 Natureza da Ciência: Aspectos Conceituais	23
2 A ESTRUTURA DE DUPLA HÉLICE DO DNA	31
2.1 ASPECTOS GERAIS	31
2.2 A HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DUPLA HÉLICE	32
3 PROCEDIMENTOS E ANÁLISES	41
3.1 O LIVRO DIDÁTICO	42
3.2 DEFINIÇÃO DAS PERGUNTAS REALIZADAS AOS LIVROS DIDÁTICOS	44
3.2.1 Perguntas Realizadas aos Livros Didáticos	45
3.3 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA PNLD/2012	50
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65

INTRODUÇÃO

A inserção de história e filosofia da ciência (HFC) no ensino de ciências é discutida na literatura especializada por vários pesquisadores. (CARNEIRO; GASTAL, 2005, p. 33; MARTINS, A., 2007, p. 114; MATTHEWS, 1995, p. 165; PEREIRA, 2009, p. 14) e, de acordo com Oki e Moradillo (2008, p. 68), como consequência dessa discussão na literatura, muitos países reestruturaram seus currículos com o intuito de inserir elementos de HFC no ensino. Os autores ainda argumentam que no Brasil os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e as Novas Diretrizes Curriculares para os cursos de graduação indicam essa tendência. (OKI; MORADILLO, 2008, p. 68). São vários os motivos apresentados na literatura para a inclusão de HFC nas disciplinas científicas; dentre eles, Matthews (1994, p. 49-53) argumenta que a inserção de elementos históricos e filosóficos é essencial para a compreensão da natureza da ciência (NdC).

Para Lederman (2006, p. 3-4), a NdC envolve o entendimento da construção do conhecimento científico e de seu desenvolvimento. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 127) argumentam que as concepções que os professores possuem acerca da construção do conhecimento científico influenciam no ensino de NdC. Dessa forma, os autores ressaltam que é necessário que os docentes conheçam as características principais do trabalho científico. (GIL-PÉREZ, et al., 2001, p. 127).

No entanto, algumas pesquisas realizadas com professores indicam que os docentes possuem “concepções inadequadas” (LEDERMAN, 2006, p. 6) ou “visões deformadas” (GIL-PÉREZ, et al., 2001, p. 127) sobre a NdC. Uma das formas mais populares de propagação destas concepções ocorre por meio dos livros didáticos, principalmente em suas narrativas históricas, visto que, muitas vezes, estas narrativas apresentam concepções inadequadas de NdC. Esta ocorrência agrava a situação do professor, pois, geralmente, o livro didático é utilizado como uma importante referência para o desenvolvimento do seu trabalho. Desse modo, como argumenta Allchin (2003, p. 329), no ensino de ciências a preocupação não deve ser somente com a introdução de aspectos históricos, mas com a qualidade das histórias apresentadas em sala de aula, uma vez que elementos de HFC errôneos não contribuem para a compreensão da NdC.

O livro didático é considerado um dos recursos mais utilizados por professores e alunos no processo de ensino e aprendizagem (CARNEIRO; SANTOS; MÓL, 2005; PAGLIARINI, 2007, p. 10); em alguns casos, constitui-se como o único material didático utilizado pelos alunos para aprender conceitos científicos. (MARTORANO; MARCONDES, 2009, p. 342). Entretanto, alguns estudos realizados com livros didáticos (MARTORANO; MARCONDES, 2009, p. 352; PAGLIARINI, 2007, p. 104; VIDAL; PORTO, 2012, p. 304) indicam que o modo como algumas histórias são abordadas nesses manuais podem sugerir concepções inadequadas sobre NdC.

Geralmente, para apresentar alguns conceitos científicos nos livros didáticos, são utilizados aspectos históricos em sua introdução; no entanto, em alguns casos, não há uma preocupação com o tipo de história a ser apresentada (CARNEIRO; GASTAL, 2005, p. 34) e, com isso, essas histórias podem veicular concepções que não contribuem para a compreensão de como ocorre a formação do conhecimento científico. Rosa e Silva (2010, p. 60) ressaltam que em algumas obras didáticas a história da ciência se resume a uma “exposição de datas e fatos”, o que para os autores não possibilita, para os leitores das obras didáticas, a reflexão sobre esses acontecimentos científicos. Desse modo, em relação aos livros didáticos, concordamos com a colocação de Carneiro e Gastal (2005, p. 34): “Assim, o que se deveria questionar é a concepção de história veiculada nesses materiais e não a sua ausência”.

As narrativas históricas deveriam possibilitar a compreensão de como a ciência é produzida, quais são os processos envolvidos, como os cientistas trabalham, permitindo, assim, uma reflexão sobre a ciência. (RIBEIRO; MARTINS, 2007, p. 305). O nosso estudo, não tem como objetivo defender a inserção de narrativas históricas nas obras didáticas, mas discutir quais concepções de NdC estão sendo veiculadas por essas narrativas. Desse modo, concordamos com Martins, R. (2006) no que se refere à introdução de HFC no ensino de ciências, pois, para o autor:

A história da ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade. (MARTINS, R., 2006, p. 17-18)

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) fornecem importantes orientações sobre o ensino de cada disciplina no Ensino Médio e, no que se refere à inserção de HFC no ensino de biologia, esse documento ressalta que:

Elementos da história e da filosofia da Biologia tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico. (BRASIL, 1999, p. 15).

E, prosseguem argumentando que:

Não é possível tratar, no Ensino Médio, de todo o conhecimento biológico ou de todo o conhecimento tecnológico a ele associado. Mais importante é tratar esses conhecimentos de forma contextualizada, revelando como e por que foram produzidos, em que época, apresentando a história da Biologia como um movimento não linear e frequentemente contraditório. (BRASIL, 1999, p. 19).

Essas recomendações indicam que, para os PCNEM, o ensino de biologia não deve ficar restrito à transmissão de conceitos e de teorias científicas. No entanto, como argumenta El-Hani (2006, p. 4), embora os PCN apresentem “uma intenção de fomentar um ensino que vá além de uma retórica de conclusões, não podemos dizer que este documento se comprometa, de fato, com a proposta de uma abordagem contextual do Ensino de Ciências”. Para o autor, esse documento não apresenta em seu interior propostas efetivas para a inserção de HFC no Ensino de Ciências. (EL-HANI, 2006, p. 4).

Em consonância com as recomendações do PCNEM, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012 também considera a inclusão de elementos históricos nas obras didáticas. O PNLD é um programa nacional que tem

como intuito distribuir obras didáticas aprovadas em seu processo de avaliação para todas as escolas públicas de educação básica. Sendo assim, um de seus critérios eliminatórios para a avaliação dos livros didáticos de biologia em 2012 verifica se o livro:

auxilia na construção de uma visão de que o conhecimento biológico e as teorias em Biologia se constituem em modelos explicativos, elaborados em determinados contextos sociais e culturais, superando a visão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes. (BRASIL, 2011, p. 10).

Desse modo, esperamos analisar as obras didáticas para observar quais concepções de NdC podem estar presente nestes livros didáticos. Assim, neste trabalho investigamos alguns momentos da construção do modelo da dupla hélice do DNA, de autoria de Watson e Crick, que são apresentadas nos livros didáticos de biologia aprovados pelo PNLD/2012.

Observamos que os PCNEM orientam que ao abordar conteúdos referentes à molécula de DNA e à hereditariedade, o professor deve “[...] trabalhar com o aluno no sentido de ele perceber que a estrutura de dupla hélice do DNA é um modelo construído a partir dos conhecimentos sobre sua composição”. (BRASIL, 2000, p. 19). Martins R. (2006, p. 25) argumenta que “quando utilizada de forma inadequada, a história das ciências pode chegar a ser um empecilho ao bom ensino de ciências”. No que se refere ao episódio da construção da dupla hélice do DNA, alguns aspectos devem ser considerados, tais como: os conhecimentos disponíveis da época acerca da molécula do DNA; os fatores que orientaram os cientistas a pesquisarem sobre a estrutura do DNA; o fato de que a hipótese da dupla hélice não foi construída com base nas evidências experimentais produzidas por Crick e Watson; o processo de desenvolvimento dos conhecimentos que lhe deram origem, tais como: resultados obtidos por outros cientistas; trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.

No entanto, como já ressaltamos, é comum a afirmação de que as narrativas históricas dos livros didáticos nem sempre contribuem para uma compreensão histórica dos conceitos científicos (tais como o de dupla hélice). Desse modo, optamos por seguir a orientação dos artigos de Rosa e Silva (2010) e Zamberlan e Silva (2011), os quais apontam para a exploração das potencialidades das narrativas históricas abertas pelos livros didáticos. A expressão “potencialidades

e problemas” aplicada nos trabalhos desenvolvidos por esses autores orientam para uma metodologia fundamentada na reflexão e no desenvolvimento de concepções historiográfico-filosóficas presentes em episódios da história da ciência veiculados nos livros didáticos. (ROSA; SILVA 2010, p. 59-60; ZAMBERLAN; SILVA, 2012, p. 188). Adotamos essa perspectiva porque não pretendemos apresentar somente os problemas existentes nas obras didáticas, mas buscamos sugerir quais concepções de NdC podem ser desenvolvidas a partir das narrativas históricas referentes ao episódio da dupla hélice.

Assim, tendo em vista a apresentação da história da construção da dupla hélice do DNA, e a partir das orientações dos PCNEM e dos referenciais teóricos do ensino de ciências, no que diz respeito à questão de concepções de NdC, este estudo tem como objetivo investigar quais concepções de NdC são veiculadas pelo episódio da construção do modelo de dupla hélice presente nos livros didáticos de biologia.

Para o desenvolvimento deste trabalho, buscamos reconstruir, a partir de fontes secundárias, alguns episódios da história da dupla hélice e, com base em algumas questões sobre a forma de ocorrência desta história, analisamos a história da ciência que é apresentada nos livros didáticos de biologia do Ensino Médio e mostramos as potencialidades e os problemas dessas narrativas. Neste estudo, foram analisados todos os livros didáticos de biologia aprovados pelo PNLD/2012.

Este trabalho está dividido em três capítulos. No primeiro capítulo, buscamos apresentar o significado da inserção de HFC e da expressão NdC no ensino de ciências. No segundo capítulo, reconstruímos o episódio da construção do modelo de dupla hélice do DNA por meio da utilização de fontes históricas secundárias. (WATSON, 1997; OLBY, 1994; SCHRÖNDIGER, 1997; MADDOX, 2002; SILVA, 2007, 2010a, 2010b). Essa reconstrução foi utilizada como parâmetro para a nossa investigação nos livros didáticos.

No terceiro capítulo, apresentamos algumas considerações acerca do PNLD e dos PCN. De modo a orientar a nossa investigação, analisamos os livros didáticos com base em algumas perguntas e, em virtude disso, descrevemos inicialmente os parâmetros que utilizamos para a sua construção. Em seguida, apresentamos a descrição e a análise das narrativas históricas que se referem ao episódio da construção da estrutura da molécula de DNA que estão no interior dos

livros didáticos de biologia. E, por fim, nas considerações finais, buscamos mostrar as potencialidades e os problemas presentes nas narrativas históricas a partir das análises realizadas nas obras didáticas aprovadas pelo PNLD/2012.

O nosso trabalho está inserido em um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina com a orientação do Professor Dr. Marcos Rodrigues da Silva. Esse grupo tem como objetivo discutir a relevância da HFC para o ensino de ciências, apresentando questionamentos e reflexões sobre a sua inserção. Nessa mesma linha, seguem os trabalhos desenvolvidos por Barbosa (2011), Boas (2012), Medeiros (2012) e Fiorin (2013).

1 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

1.1 HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

1.1.1 História e Filosofia da Ciência: Aspectos Conceituais

Matthews (1994, p. 2-3) argumenta que o ensino de ciência deve ser “em ciências e sobre ciências”, ou seja, para o autor, a compreensão da ciência não deve ficar restrita à aprendizagem de seus produtos (leis, teorias, entre outros), mas também deve envolver o entendimento do processo da ciência (seus métodos e seu desenvolvimento). Matthews (1995) apresenta argumentos importantes para a inserção da HFC nas disciplinas científicas e, com isso, alguns trabalhos desenvolvidos por esse pesquisador são utilizados como referência nas investigações do nosso grupo de pesquisa.

Martins A. (2007, p. 114) menciona que nas últimas décadas a importância da inserção de HFC para o ensino e aprendizagem de ciências tem sido enfatizada por diversos estudos da área, tais como publicação de artigos em periódicos especializados e a realização de eventos e congressos específicos. Essa tendência também é mencionada por Boas¹ (2012, p. 56), autor que observou um crescimento na quantidade de artigos publicados a cada ano em periódicos da área de ensino de ciências que abordam a temática HFC. Matthews (1995, p. 165) argumenta que a partir de 1990 ocorreu uma aproximação entre essas duas áreas e que, apesar da HFC não solucionar todos os problemas presente no ensino de ciências (analfabetismo científico, evasão de alunos e professores, etc.), a inclusão de aspectos históricos pode fornecer relevantes contribuições para o ensino de ciências, entre eles: humanizar as ciências, aproximando-a dos interesses éticos, culturais e políticos; propiciar o pensamento crítico por meio de aulas instigantes e reflexivas; auxiliar na compreensão de conteúdos científicos e; contribuir para a

¹ Boas (2012) realizou uma revisão na literatura a partir do ano de 1996 nas seguintes revistas: *Ciência e Educação*, *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Cadernos de Pesquisa*, *Química Nova na Escola*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Revista Brasileira de História da Ciência*. (BOAS, 2012, p. 47).

formação de docentes com o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e autêntica em sala de aula.

Diferentes estudos na área de ensino de ciências apresentam argumentos a favor da inclusão de HFC no ensino de ciências, sendo que algumas pesquisas ressaltam a importância da inserção de elementos de HFC na formação de professores². (DUARTE, 2004, p. 324-325; BISCAINO, 2012, p. 82-83; MARTINS, A., 2012, p. 19). Há estudos que indicam que as narrativas históricas presentes nos livros didáticos apresentam concepções acerca da construção do conhecimento científico³ (CARNEIRO; GASTAL, 2005, p. 34; PAGLIARINI, 2007, p. 104; VIDAL; PORTO, 2007, p. 304) e também observamos que alguns estudos salientam a importância da HFC para a compreensão da NdC⁴. (OKI; MORADILLO, 2008, p. 68; TEIXEIRA; FREIRE; EL-HANI, 2009, p. 548). Boas (2012, p. 57-67) apresenta uma taxonomia para artigos que versam sobre a relevância da HFC no ensino de ciências para uma compreensão da NdC. Nessa taxonomia, o autor identifica “18 temas condutores de NdC”, os quais são distribuídos em quatro grandes áreas (Historiografia/História da Ciência; Concepções de Ciência; Concepções de Natureza da Ciência; Ensino de Ciências). (BOAS, 2012, p. 57-67). Os “temas condutores de NdC” elaborados por Boas (2012, p. 57-67) permitem que novas investigações sejam desenvolvidas a partir desses tópicos, pois foram construídos por meio de uma ampla revisão em periódicos da área de ensino de ciências.

² Duarte (2004, p. 324-325) discute que a dificuldade que alguns professores apresentam em inserir aspectos históricos no ensino pode estar relacionada à formação dos professores, tanto na ausência de disciplinas de História e/ou Filosofia das Ciências em algumas Universidades, quanto na falta de reflexão sobre a transposição desse conhecimento para a sala de aula, observadas em algumas disciplinas de HFC. (DUARTE, 2004, p. 324-325). Biscaino (2012), por meio de um estudo de caso com três licenciandos em Física, também observou que é fundamental que os cursos de graduação possibilitem a reflexão sobre a inserção de elementos de HFC no ensino. (BISCAINO, 2012, p. 82-83). Martins, A. (2012) apresenta algumas dificuldades relacionadas à inclusão de HFC no ensino e na formação de professores. Para o autor, a utilização de “episódios históricos com abordagens explícitas sobre tópicos de NdC pode ser uma boa estratégia para a superação de algumas das dificuldades relatadas neste trabalho”. (MARTINS, A., 2012, p.19).

³ Carneiro e Gastal (2005, p. 35), em uma investigação nos livros didáticos de biologia, observaram que a história da biologia apresentada nesses livros veiculam concepções que não auxiliam na compreensão da ciência e do trabalho científico. Pagliarini (2007, p. 104), em seu trabalho, também encontrou “concepções errôneas sobre a NdC” nas narrativas históricas dos livros didáticos de física. As obras didáticas de química também apresentaram concepções que não auxiliam na compreensão da natureza do conhecimento científico. (VIDAL; PORTO, 2007, p. 304).

⁴ Oki e Moradillo (2008, p. 68), por meio da contextualização histórica de conceitos químicos, observou que, após a adoção dessa abordagem no ensino, os estudantes de Química compreenderam aspectos da NdC e de conceitos químicos.

Teixeira, Freire e El-Hani (2009, p. 530) investigaram as concepções de estudantes de Física acerca da NdC. Os pesquisadores concluíram que a introdução de uma abordagem contextualizada histórica e filosoficamente contribuiu para o aprimoramento das concepções acerca da NdC. (TEIXEIRA; FREIRE; EL-HANI, 2009, p. 548).

Para Matthews (1995, p. 166), os pesquisadores que argumentam a favor da utilização de HFC tanto no ensino quanto na formação de docentes apresentam uma abordagem contextualista, ou seja, defendem que a educação científica seja ensinada em diferentes contextos: ético, social, filosófico e tecnológico, o que remete a um ensino “em ciências e sobre ciências”. Martins R. (2006, p. 17-18) salienta que o estudo adequado de alguns momentos históricos possibilita a compreensão das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, apresentando a ciência como parte integrante de um desenvolvimento histórico, de uma cultura e de um mundo. Para Quintal e Guerra (2009, p. 22), a introdução de elementos históricos no ensino de ciências, além de auxiliar na aprendizagem de conteúdos científicos, também promove o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. A história da ciência auxilia na compreensão dos conceitos e teorias científicas uma vez que permite que o estudante compreenda que a ciência é resultante de uma construção sócio-histórico-cultural. (SCHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005, p. 231).

Além disso, como afirma Batista (2007), a apresentação de episódios históricos permite o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes acerca das questões científicas, tais como a aceitação ou refutação de algumas teorias científicas. De acordo com Guerra e colaboradores (1998, p. 45), a compreensão das questões científicas também pode contribuir para a formação de indivíduos conscientes e atuantes na sociedade. Em virtude disso, os autores argumentam que a história da ciência deve ser abordada no ensino de ciências com o intuito de permitir a compreensão de como ocorre a construção do conhecimento científico.

Para Martins R. (2006, p. 17), a “história da ciência não pode substituir o ensino comum de ciências, mas pode complementá-la de várias formas”. Segundo o autor, o estudo adequado de alguns episódios históricos possibilita o entendimento das relações entre tecnologia, ciência e sociedade; permite adquirir uma visão adequada acerca da NdC, seus problemas e limitações; propicia a compreensão de que “a ciência não é o resultado da aplicação de um método científico que permita chegar a verdade”. (MARTINS, R., 2006, p. 17).

Matthews (1994, p. 49-53) também argumenta que a inclusão de elementos históricos e filosóficos nas disciplinas científicas é essencial para a compreensão da natureza da ciência (NdC). Desta forma, a expressão NdC envolve

o entendimento da construção do conhecimento científico e de seu desenvolvimento. (LEDERMAN, 2006, p. 3-4). Segundo Lederman (2006, p. 2), o ensino de NdC é considerado, nos currículos de alguns países⁵, como um dos objetivos para o ensino de ciências. Nesse trabalho, na seção 1.3, apresentamos algumas considerações acerca da NdC.

Assumida a existência da relação entre HFC e NdC, concordamos com a colocação de Allchin (2003, p. 329): “O problema, eu acredito, não é a ausência de história. Ao contrário, a preocupação deve ser com o tipo de história que é utilizada.” O autor se refere às histórias⁶ que, embora, sejam baseadas em fatos reais, apresentam uma distorção em seu contexto histórico e, com isso, veiculam “estereótipos indevidos” sobre a NdC. (ALLCHIN, 2003, p. 329). Dessa forma, para que a HFC auxilie na compreensão da natureza da ciência, o professor deve estar atento ao tipo de história que apresenta aos seus alunos.

Allchin (2004, p. 192-193) argumenta que a presença de determinadas características nas narrativas históricas permite que o professor desconfie de sua autenticidade e, com isso, verifique se essas histórias realmente podem auxiliar na compreensão do trabalho científico. De acordo com o autor, essas características são: narrativas romantizadas; descobertas grandiosas e isoladas; percepções do tipo “Eureca”; presença de apenas experimentos cruciais; ausência de erro e de problemas na interpretação das evidências empíricas; simplificação geral ou idealização da história; plena aceitação da descoberta, entre outros. (ALLCHIN, 2003, p. 193).

Embora a inserção de HFC no ensino de ciências seja defendida por muitos pesquisadores, Pessoa Jr (1996, p. 4) argumenta que a inclusão ou não de elementos históricos no ensino de ciências depende da concepção de ensino de ciências que o professor apresenta. Desse modo, para o autor, dependendo do objetivo de ensino, a utilização de uma perspectiva histórica pode não ser relevante. (PESSOA JR, 1996, p. 4). Martins A. (2012, p. 19-20) argumenta que para inserir elementos de história e filosofia no ensino de ciências é necessário definir como será feita essa abordagem e com qual profundidade esses elementos devem ser trabalhados nos diversos níveis de ensino. Tendo em vista os argumentos sobre a

⁵ Os países citados por Lederman (2006, p.2) são Austrália, Canadá, África do Sul, Estados Unidos, entre outros.

⁶ Allchin (2003, p. 329) refere-se às histórias populares da ciência que romantizam os cientistas e dramatizam suas descobertas e todo o processo da ciência em uma proporção monumental.

inserção de HFC no ensino de ciências, apresentamos algumas abordagens acerca da inclusão de aspectos históricos e filosóficos no ensino de ciências sugeridas por alguns pesquisadores da área.

1.1.2 Abordagens de História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências

Matthews (1994, p. 70) sugere que a inserção de HFC no ensino de ciência pode ser feita por meio de duas abordagens, sendo uma a “abordagem aditiva” e a outra a “abordagem integrada”. Na “abordagem aditiva”, episódios específicos da história da ciência são utilizados para complementar um curso de ciências “não histórico”; ou seja, um curso que não abordou aspectos históricos. Na segunda abordagem, a história da ciência é integrada aos conteúdos científicos que são ministrados em um único curso; deste modo, cada conceito científico é ensinado de acordo com o seu desenvolvimento histórico. (MATTHEWS, 1994, p. 70).

Para Pessoa Jr (1996, p. 5-6) a história da ciência pode ser incluída no ensino de ciências por meio de sete abordagens diferentes⁷:

⁷ Com a leitura das possíveis abordagens apresentadas por Pessoa Jr (1996, p. 5-6) percebemos que o professor pode utilizar mais de uma abordagem para introduzir a história da ciência, uma vez que alguns tipos de abordagens não precisam estar necessariamente separados.

- 1) [...] *história internalista de longo prazo* [...] Utiliza-se a linguagem moderna, com gráficos que não eram usados na época, para explicar como que as concepções físicas evoluíram ao longo do tempo. É uma maneira eficaz de usar a História das Ciências para ensinar Física, apesar de não ser muito fiel às origens.
- 2) [...] fazendo um *perfil epistemológico de alguns grandes cientistas*. Neste caso, o professor focalizaria alguns cientistas importantes, como Kepler, e examinaria como cada um partiu de certas ideias, como que aos poucos foi elaborando uma nova teoria ou equação, como ele descobriu algo novo ou resolveu tal problema, com quem ele dialogou, quais foram os erros que cometeu, etc.
- 3) [...] *história externalista ou social* da Ciência. Nesse caso, explicaria como era a sociedade na época, quais eram as necessidades tecnológicas, porque tal país era o centro científico, etc., [...]
- 4) Outra possibilidade é ensinar *História a partir da leitura de originais*. Em um curso de Física o professor daria traduções de textos originais de Copérnico, Huygens ou Faraday para os alunos lerem.
- 5) [...] *História da Ciência a partir de teorias de dinâmica científica*. Em outras palavras, pegariamos uma teoria de evolução das teorias científicas como a de Thomas Kuhn, que se baseia na noção de “paradigma”, ou a de Imre Lakatos, que se baseia na noção de “programa de pesquisa”, e descreveríamos episódios da História da Ciência usando tais modelos.
- 6) [...] *história dos instrumentos científicos* [...] Em sala de aula, no entanto, é bastante instrutivo apresentar slides de instrumentos científicos, [...] Instrumentos científicos antigos têm um potencial didático muito grande.
- 7) [...] *histórias possíveis* [...] estudando como um campo se originou historicamente, percebemos que poderia ter sido descoberto de outra maneira. (PESSOA JR., 1996, p. 5-6).

Entretanto, como ressalta Pessoa Jr (1996, p. 5-6), alguns dos tipos de abordagens apresentadas (História internalista de longo prazo, História externalista e História da Ciência a partir de teorias de dinâmica científica) alteram o contexto histórico do episódio científico. Dessa maneira, apesar de considerarmos importante que o professor conheça as possíveis abordagens para a inserção de HFC no ensino, observamos que essa inserção seja realizada de modo que possibilite aos estudantes compreenderem como ocorre a construção do conhecimento científico.

Para a inserção de elementos de história e filosofia da ciência nas aulas de ciências, Matthews (1994, p. 70) relata que há uma grande diversidade de metodologias de ensino que podem ser utilizadas pelos professores; dentre elas, leitura e interpretação de textos, teatros ou debates de episódios históricos, projetos individuais e em grupo. No entanto, apesar de muitos pesquisadores apresentarem

argumentos favoráveis à inserção de HFC no ensino de ciência, ainda há algumas dificuldades para a sua aplicação no contexto escolar. A seguir, discutimos os principais obstáculos apontados por alguns estudos.

Höttecke e Silva (2010, p. 296) argumentam que os esforços para inserir a HFC no ensino de ciências devem considerar as perspectivas dos professores, seus objetivos de ensino e aprendizagem, assim como sua compreensão epistemológica. Biscaino (2012, p. 7) afirma que quando os professores ultrapassam a fase inicial “de o porquê ensinar HFC” aos estudantes, eles questionam “quanto ou como ensinar HFC”. Além disso, alguns pesquisadores (MARTINS, R., 2006, p. 22-23; MARTINS, A., 2007, p. 115) relatam que não há um número suficiente de professores preparados para abordar esse tema em sala de aula e que há pouco material pedagógico adequado. Para Martins (2006, p. 24), “um bom texto sobre a história da ciência, para poder ser utilizado na educação, deve ser escrito em linguagem adequada e simples”.

Muitos livros didáticos de ciências não abordam de maneira apropriada o desenvolvimento histórico da ciência e da natureza da ciência, propagando concepções inadequadas sobre o trabalho científico. (PAGLIARINI, 2007, p. 103-104; HÖTTECKE; SILVA, 2010, p. 294). Segundo Batista (2007), esse modo de apresentar a história da ciência é o resultado da omissão de seu contexto histórico; dessa forma, para a autora, as histórias presentes nos livros didáticos geralmente são narradas como:

[...] uma sequência dos conteúdos por grau de dificuldade, caracterizando uma forma linear do conhecimento que acaba omitindo, na maioria das vezes, o momento histórico que levou determinado assunto a ser estudado e por quem foi estudado. É importante que o aluno tenha clareza sobre o momento histórico que está vivenciando e o momento histórico que proporcionou seu estar neste momento e nessas condições de existir enquanto ser social. (BATISTA, 2007).

No entanto, além de investir em materiais didáticos apropriados para a utilização de HFC na sala de aula, também é necessário incentivar a utilização desses materiais pelos professores em cada série do ensino. (DELIZOICOV; CARNEIRO; DELIZOICOV, 2004, p. 457). Höttecke e Silva (2010, p. 294) argumentam que um dos principais obstáculos para inclusão de HFC no ensino é a falta de significado que essa área do conhecimento tem para muitos professores e

desenvolvedores do currículo. Dessa maneira, alguns pesquisadores argumentam que é indispensável que os cursos de formação inicial de professores apresentem conteúdos de HFC, uma vez que a formação adequada possibilitaria uma seleção apropriada do material didático a ser utilizado em sala de aula. (DUARTE, 2004, p. 321).

Matthews (1995, p. 197) ressalta que para que a introdução de elementos de HFC no ensino de Educação Básica ocorra de maneira adequada é fundamental que este conhecimento seja abordado em cursos de formação de professores e também em cursos para professores em exercício de atividade. Entretanto, somente a inserção de conteúdos de HFC em cursos formação de docentes não é o suficiente para que a inclusão desse conhecimento no Ensino Básico seja realizada de forma apropriada. (DUARTE, 2004, p. 326; MARTINS, A., 2007, p.115). Duarte (2004, p. 325) argumenta que também é necessário que os cursos de formação fomentem a reflexão sobre a aplicação da HFC no ensino, tais como o desenvolvimento de planos de aulas, métodos de avaliação, entre outros. No entanto, como já assinalamos, algumas pesquisas indicam que os professores não possuem uma concepção apropriada sobre a natureza da ciência (LEDERMAN, 2006, p. 6; GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 127), o que sugere a falta de compreensão de elementos de história e filosofia da ciência. É necessário destacar que, no que se refere a esse trabalho, o aspecto de HFC que abordaremos nessa investigação é a NdC. Com isso, apresentamos alguns argumentos acerca dessa expressão e de sua aplicação no ensino de ciências.

1.2 NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

1.2.1 Natureza da Ciência: Aspectos Conceituais

Como já mencionamos, a NdC é considerada um importante objeto de estudo para o ensino de ciências em alguns países. (LEDERMAN, 2006, p. 2). Entre os países citados por Lederman (2006, p. 2), destacam-se Austrália, Canadá, África do Sul, Estados Unidos, entre outros. No Brasil, observamos que os PCN orientam para que sejam abordados aspectos da NdC no Ensino de Educação Básica. Essa referência pode ser percebida nas recomendações para o Ensino Fundamental, “[...] é importante que, durante a escolaridade fundamental, o

estudante possa refletir sobre a natureza do conhecimento e do fazer científico e tecnológico [...]”. (BRASIL, 1998, p. 88). Nas recomendações para o Ensino Médio, tal referência encontra-se especificada em cada uma das disciplinas científicas. Para a Biologia, o conhecimento científico deve ser apresentado “de forma contextualizada, revelando como e por que foram produzidos [...]”. (BRASIL, 1999, p. 19). Para a Física, o ensino dessa disciplina deve possibilitar a “compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos [...]”. (BRASIL, 1999, p. 27). Para a Química, “o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança”. (BRASIL, 1999, p. 31). São Tiago (2011, p. 20) argumenta que, apesar da expressão NdC não ser apresentada nos textos dos PCN de maneira explícita, as ideias acerca da NdC veiculadas nestes textos são mais importantes que a expressão em si.

Na literatura de ensino de ciências, alguns pesquisadores apresentam argumentos importantes para que os estudantes aprendam algo sobre NdC. Carvalho (2001, p. 140) relata que a compreensão desse conhecimento auxilia na alfabetização científica e tecnológica. Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007, p. 152) ressaltam que a alfabetização científica e tecnológica contribui para a formação de cidadãos críticos e atuantes na sociedade, uma vez que possibilita a compreensão dos problemas e das opções referentes a uma questão científica, permitindo, com isso, a tomada de decisões. No entanto, apesar de Acevedo e colaboradores (2005, p. 7) também reconhecerem a relevância da compreensão da NdC para a tomada de decisões, os autores argumentam que as razões para se optar por determinada decisão também pode ser influenciada pelas crenças e pelos valores culturais, pessoais e sociais do indivíduo.

Lederman (2006, p. 2-3) apresenta alguns motivos propostos por Driver e colaboradores (1996) para a inserção de NdC nas disciplinas científicas:

Utilitário: compreender a NdC é necessário para dar sentido à ciência e para manipular objetos e processos tecnológicos do dia a dia.

Democrático: compreender a NdC é necessário para se instruir para tomar decisões em questões sócio-científicas.

Cultural: compreender a NdC é necessário para apreciar o valor da ciência como parte da cultura ocidental.

Moral: compreender a NdC auxilia na compreensão das normas da comunidade científica que incorporam compromissos morais que são valores comuns para a sociedade.

Aprendizagem de ciências: compreender a NdC facilita a aprendizagem da matéria e de assuntos científicos. (DRIVER et al., 1996, apud LEDERMAN, 2006, p. 2-3; grifos do autor).

Apesar de reconhecer a relevância dessas razões, Lederman (2006, p. 3) ressalta que estes motivos “são basicamente intuitivos, com pouca evidência empírica”. Do mesmo modo, como ocorre com São Tiago (2011, p. 24), percebemos que a citação de Lederman (2006, p. 3) expressa a necessidade do desenvolvimento de mais investigações.

No entanto, apesar dos argumentos favoráveis ao ensino de NdC, historiadores, filósofos e cientistas ainda não chegaram a um consenso sobre o que é NdC e quais são suas características principais. (ACEVEDO et al., 2005, p. 2; LEDERMAN; LEDERMAN, 2005, p. 3). Lederman (1999) argumenta que, devido à natureza multifacetada e à complexidade do conhecimento científico, é natural a diferença de opiniões acerca do que é NdC. Para Lederman (2006, p. 3-4), a NdC envolve o entendimento da construção do conhecimento científico e de seu desenvolvimento. (LEDERMAN, 2006, p. 3-4). O autor apresenta as características principais acerca do conhecimento científico:

1. Distinção entre observação e inferência.
2. Relação e distinção entre leis e teorias.
3. O conhecimento científico é essencialmente derivado e baseado na imaginação e criatividade humana.
4. O conhecimento científico é parcialmente subjetivo, não pode ser totalmente objetivo.
5. A ciência é praticada em uma cultura ampla e os cientistas são produtos dessa cultura. A ciência afeta e é afetada por vários elementos e esferas intelectuais da cultura na qual está inserida.
6. O conhecimento científico não é absoluto, ele está sujeito a mudanças.
7. O conhecimento científico é empiricamente fundamentado. (LEDERMAN, 2006, p. 3-4, grifo nosso).

Levando em consideração as afirmações do autor, consideramos conveniente traçar alguns comentários sobre os aspectos que são destacados nas características por ele apresentadas:

1. Para Lederman (1999), a observação é resultante de percepções sensoriais, mediante as quais diferentes pesquisadores podem ter as mesmas conclusões, enquanto a inferência é uma afirmação que não considera esse tipo de percepção.

2. As leis expressam as relações entre os fenômenos observáveis, como a lei de Boyle⁸, as teorias apresentam explicações para esses fenômenos, como a teoria cinética molecular, que explica a lei de Boyle. (LEDERMAN, 1999).

3. Ao elaborar explicações para os fenômenos observados, os cientistas utilizam a criatividade e a imaginação.

4. O conhecimento científico não é objetivo, uma vez que envolve o conhecimento prévio, a experiência, a expectativa, dentre outros fatores que podem influenciar o trabalho dos cientistas. (LEDERMAN, 1999).

5. A ciência é praticada em uma cultura ampla e os cientistas são produtos dessa cultura. A ciência afeta e é afetada por vários elementos e esferas intelectuais da cultura na qual está inserida, sendo que esses elementos incluem política, fatores socioeconômicos, filosofia e religião, dentre outros. (LEDERMAN, 1999).

6. Lederman (1999) explica que o conhecimento científico independe da quantidade de evidências empíricas e que não pode ser absolutamente comprovado devido aos avanços tecnológicos, teóricos ou a mudanças nos programas de investigação estabelecidos.

7. O conhecimento científico está relacionado à coleta e à análise de dados. (LEDERMAN, 1999).

Além disso, observamos que na literatura da área de ensino de ciências, a NdC é abordada em diferentes estudos por meio dos seguintes temáticas⁹: compreensão da NdC para a modificação e formação de concepções

⁸ A lei de Boyle relaciona a pressão de um gás para o seu volume, a uma temperatura constante.

⁹ Realizamos este levantamento na revista Ciência e Educação, no período de 1998 a 2011, sendo que não utilizamos nenhum método para essa investigação, apesar de reconhecermos a sua importância. Não aprofundamos esse levantamento bibliográfico devido ao fato do tempo limitado para o desenvolvimento deste trabalho e pelo fato de Boas (2012, p. 57-67), integrante do grupo de pesquisa orientado pelo professor Marcos Rodrigues da Silva, ter realizado uma ampla revisão na literatura de ensino de ciências, na qual identificou "18 temas condutores de NdC". Como

epistemológicas de docentes (MEDEIROS; BEZERRA FILHO, 2000 p. 109; CUNHA, 2001 p. 237; GIL-PÉREZ et al., 2001 p. 127; CHINELLI; FERREIRA; AGUIAR, 2010, p. 19); importância das narrativas históricas para a formação de concepções em professores e estudantes (CARNEIRO; GASTAL, 2005, p. 35; RIBEIRO; MARTINS, 2007, p. 305); relevância da utilização de uma abordagem histórica no ensino para a modificação de concepção de professores e alunos (DELIZOICOV; CARNEIRO; DELIZOICOV, 2004, p. 445; OKI; MORADILLO, 2008, p. 68; TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009, p. 534); atividades lúdicas para a formação e modificação de concepções de estudantes (MESQUISTA; SOARES, 2008, p. 421); compreensão de teorias científicas para o entendimento da NdC (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002, p. 130); atividades experimentais como um meio de se entender a construção do conhecimento científico (QUEIROZ; ALMEIDA, 2004, p. 44); educação científica e tecnológica (SCHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2005, p. 224; ACEVEDO et al., 2005, p. 4); educação científica e tecnológica, especificamente para a participação na tomada de decisões. (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007, p. 142; GALVÃO; REIS; FREIRE, 2011, p. 509). Com isso, concluímos que esses estudos apresentam uma preocupação com o ensino de NdC de modo que esta contribua com a aprendizagem de ciências. Tendo em vista esta preocupação, apresentamos uma breve discussão acerca da abordagem de NdC no ensino de ciências.

Abd-El-Khalick e Lederman (2000), por meio de uma revisão da literatura, identificaram duas tendências para a inserção de conteúdos sobre a NdC: a abordagem implícita e a abordagem explícita. A primeira abordagem se refere ao desenvolvimento de atividades que permitam a participação do aluno em atividades investigativas, tais como aulas práticas em laboratório. (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000, p. 673). São Tiago (2011, p. 63-64) argumenta que, de acordo com esta abordagem, o envolvimento dos estudantes com a prática científica auxiliaria na compreensão da NdC. Entretanto, o autor ressalta que somente a inserção de disciplinas científicas e de laboratório não são suficientes para o entendimento da NdC. (SÃO TIAGO, 2011, p. 63-64). Na segunda abordagem, a compreensão dessa área do conhecimento deve estar presente nos objetivos das disciplinas científicas, o que permite a utilização, discussão e reflexão de conteúdos específicos, tais como a história e a filosofia da ciência. (ABD-EL-KHALICK;

mencionamos anteriormente, o trabalho desenvolvido por Boas (2012) possibilita o desenvolvimento de novas investigações a partir desses temas.

LEDERMAN, 2000, p. 673). Lederman (2006, p. 6) explica que neste tipo de abordagem os aspectos de NdC se tornam visíveis em sala de aula, ou seja, os estudantes são incentivados a refletir sobre as investigações científicas.

Oki e Moradillo (2008, p. 71) discutem que as abordagens explícitas utilizam a HFC e que há um consenso na literatura acerca da importância desta para a compreensão da NdC. No entanto, os autores argumentam que é necessário a realização de mais investigações para que possa ser avaliada qual tipo de abordagem apresenta “maior ou menor eficácia”. (OKI; MORADILLO, 2008, p. 71). Moss, Abrams e Robb (2001) argumentam que a utilização simultânea dos dois tipos de abordagem são relevantes para a compreensão da NdC, uma vez que para os autores, as atividades experimentais também podem auxiliar na compreensão de como ocorre a formação do conhecimento científico. Teixeira, Freire Jr e El-Hani (2009, p. 532) alertam que para a abordagem implícita não reforçar concepções inadequadas, como indutivismo ingênuo, é necessário que no decorrer das atividades práticas o professor promova reflexões acerca da NdC.

Observamos também que, apesar dos argumentos acerca da relevância da NdC para o ensino de ciências expressos por documentos nacionais e por pesquisadores da área de ensino de ciências, algumas investigações indicam que professores não apresentam concepções adequadas sobre NdC. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 135; LEDERMAN, 2006, p. 6). Alguns estudos (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 125; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007, p. 147) sugerem que as concepções que os professores possuem sobre NdC influenciam sua prática docente. No entanto, ter concepções adequadas sobre a NdC não é o suficiente para assegurar que os estudantes compreendam a NdC. (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007, p. 147; TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009, p. 534). Apesar disso, Teixeira, Freire Jr e El-Hani (2009, p. 534) ressaltam que é essencial que os professores tenham concepções apropriadas acerca da natureza do trabalho científico, uma vez que a posse de concepções inadequadas por parte dos docentes não permitiria que eles ensinassem concepções adequadas sobre a NdC¹⁰.

Há uma grande quantidade de estudos acerca da NdC e, também, como já mencionamos, não há um consenso sobre o que é NdC e quais são as suas

¹⁰ Teixeira, Freire Jr e El-Hani (2009, p. 534) relatam que vários fatores interferem na aprendizagem de NdC, dentre eles: as restrições institucionais e curriculares, a falta de recursos para avaliar a compreensão sobre a natureza da ciência, a experiência e as intenções dos professores, e o conhecimento prévio, as percepções, a motivação e as habilidades dos alunos, entre outros.

características principais; mas, para o desenvolvimento deste trabalho, optamos pelos estudos desenvolvidos por Gil-Pérez e colaboradores (2001) e por Lederman (2006). No artigo “Para uma imagem não deformada do trabalho científico”, Gil-Pérez e colaboradores (2001) apresentam o resultado de uma pesquisa desenvolvida por meio da realização de workshops com professores de disciplinas científicas e por meio de uma ampla análise da literatura. Como resultado dessa investigação, os autores enumeram sete tipos de concepções que são denominadas “visões deformadas” sobre o trabalho científico.

As concepções apresentam a seguinte descrição: visão “empírico-indutivista ou ateórica”, a qual ressalta o papel “neutro” da observação e da experimentação, ignorando o papel fundamental das hipóteses como orientadoras da investigação científica (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 129); “visão rígida, algorítmica, exata, infalível”, que sugere que o “método científico” é um conjunto de etapas a seguir mecanicamente; além disso, recusa tudo o que se refere à criatividade, ao carácter tentativo, à dúvida (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 130-131); “visão aproblemática e ahistórica”, mediante a qual transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 131); “visão exclusivamente analítica”, a qual ressalta a divisão parcelar dos estudos, seu carácter limitado, simplificador (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 131-132); “visão acumulativa de crescimento linear dos conhecimentos científicos”, que aborda o desenvolvimento científico de maneira linear e acumulativo, ou seja, na qual os conhecimentos são apresentados sem mostrar como eles foram alcançados, não se referindo às frequentes confrontações entre teorias rivais, às controvérsias científicas, nem aos complexos processos de mudança (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 132-133); “visão individualista e elitista”, por meio da qual o conhecimento científico é considerado como obra de gênios isolados, sendo que o papel do trabalho coletivo e cooperativo, bem como os intercâmbios entre equipes são ignorados (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 133); “visão descontextualizada, socialmente neutra”, que acredita que a ciência está isolada da realidade sócio-histórica e cultural, ignorando as relações entre ciência, tecnologia, sociedade (CTS) e apresentando os cientistas como personagens “acima do bem e do mal”. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 133-134).

Observamos que alguns autores (BOAS, 2012, p. 56; MARTINS, A., 2007) relatam que nos últimos anos ocorreu um aumento significativo no número de

publicações acerca da inserção de HFC no ensino de ciências em periódicos da área. Além disso, percebemos que diferentes pesquisadores apresentam argumentos importantes para a inserção de elementos de HFC no ensino (MARTINS, R., 2006, p.17-18; MATTHEWS, 1995, p. 165; GUERRA et al., 1998, p. 45); entre esses argumentos, destaca-se o de que a HFC é essencial para a compreensão da NdC. (MATTHEWS, 1994, p. 49-53; MARTINS, R., 2006, p. 17). No entanto, o problema, como salienta Allchin (2003, p. 329), não é a ausência de história no ensino, mas o tipo de história que é utilizada. Elementos de HFC errados não contribuem para o entendimento da NdC.

Para Ribeiro e Martins (2007, p. 305), as narrativas históricas presentes nos livros didáticos podem desempenhar um papel importante na compreensão “da ciência e de sua natureza”, uma vez que apresentam o trabalho dos cientistas, os processos envolvidos, quais são os seus objetivos, entre outros. (RIBEIRO; MARTINS, 2007, p. 305). Para Martins R. (2006, p. 18), o estudo de alguns episódios históricos auxilia na compreensão de como ocorre a construção do conhecimento científico, possibilitando a formação de concepções sobre NdC. Tendo em vista estes argumentos, investigamos quais concepções de NdC são veiculadas nas narrativas históricas presente nos livros didáticos de biologia do PNLD/2012 no que se refere à narrativa histórica da construção da história da dupla hélice do DNA. Desse modo, para orientar a nossa investigação nos livros didáticos, apresentamos uma reconstrução da história da dupla hélice.

2 A ESTRUTURA DE DUPLA HÉLICE DO DNA

2.1 ASPECTOS GERAIS

A molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico) armazena as informações genéticas de cada ser vivo; deste modo, a compreensão de sua estrutura possibilitou o entendimento dos mecanismos da hereditariedade. A estrutura da dupla hélice do DNA foi proposta por James Watson e Francis Crick em 25 de abril de 1953 com a publicação do artigo “Molecular structure of the nucleic acids” (Estrutura molecular dos ácidos nucleicos) na revista *Nature*. A proposição de uma estrutura para a molécula de DNA é considerada por alguns pesquisadores (SCHEID, 2006, p. 19-29; SILVA, 2010a, p. 69-70) como um dos mais relevantes acontecimentos científicos do século XX, pois possibilitou o desenvolvimento de uma nova área do conhecimento, a biologia molecular.

O DNA é formado por duas cadeias¹¹ que apresentam formato helicoidal, cada uma enrolada em torno de seu próprio eixo. (WATSON; CRICK, 1953a, p.737). As cadeias são unidas aos pares por meio de pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas¹² (adenina, timina, citosina e guanina) e a ligação entre elas ocorre somente aos pares, ou seja, adenina com timina e citosina com guanina¹³. (WATSON; CRICK, 1953a, p.737). De acordo com Watson e Crick (1953a, p. 737), a complementariedade das bases nitrogenadas possibilitaria que o DNA fosse duplicado e a informação genética copiada.

Ramos (2010, p. 12) relata que o esclarecimento da estrutura da molécula de DNA foi um aspecto fundamental para o desenvolvimento da engenharia genética, ou tecnologia do DNA recombinante, possibilitando a manipulação de trechos dessa molécula. Além disso, a autora argumenta que esse acontecimento científico também permitiu a realização do mapeamento e

¹¹ Cada cadeia é formada por um filamento de polinucleotídeo e cada nucleotídeo é composto por uma molécula de fosfato, uma desoxirribose e uma base nitrogenada (adenina, timina, citosina e guanina).

¹² Watson e Crick fazem referência ao estudo realizado por Erwin Chargaff e seus colaboradores com o DNA, no qual os pesquisadores observaram que as quantidades de adenina (A) e timina (T) se encontravam em proporções semelhantes no DNA, assim como as quantidades de citosina (C) e guanina (G).

¹³ Isso possibilita que a sequência de bases de um filamento seja sempre complementar ao outro; assim, se um filamento apresenta a sequência AATCGAT, conseqüentemente, o outro apresentará a sequência TTAGCTA.

sequenciamento do genoma humano, abordado pelo Projeto Genoma Humano¹⁴ (PGH). (RAMOS, 2010, p. 12).

Desde a proposição do modelo de dupla hélice, alguns estudos fornecem uma reconstrução histórica sobre esse episódio da história da biologia. (WATSON, 1968; OLBY, 1994; STRATHERN, 2001; HAUSMANN, 2002; FERREIRA, 2003). A importância da compreensão desse episódio para o ensino de biologia também é discutida por alguns pesquisadores. (SCHEID, 2006, p. 13-14; ANDRADE e CALDEIRA, 2009, p. 141; OLIVEIRA, 2009, p. 15). No que se refere aos livros didáticos, observamos que todas as coleções de biologia aprovadas pelo PNLD/2012 apresentam narrativas históricas referentes à construção da estrutura da molécula de DNA. Desse modo, para orientar a nossa investigação nos livros didáticos, apresentamos uma reconstrução histórica desse acontecimento científico a partir de fontes históricas secundárias.

2.2 A HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DUPLA HÉLICE

A reconstrução da história da estrutura do DNA que apresentamos foi baseada nas convicções e estudos de diferentes autores, entre eles Olby (1994), Maddox (2002), Watson (2003) e Silva (2007), (2010a), (2010b).

A compreensão da história da construção do modelo em dupla hélice sugerido por Watson e Crick em 1953 não envolve apenas o entendimento dos acontecimentos científicos daquela época, mas também o conhecimento proveniente de pesquisas anteriores. As primeiras investigações que conduziram aos estudos posteriores da molécula de DNA se iniciaram com o trabalho desenvolvido pelo médico suíço Friedrich Miescher (1844-1895). Em 1869, Miescher trabalhava na Universidade de Tübingem, na Alemanha e, enquanto estudava as proteínas presentes nas células de pus em um de seus experimentos, observou um precipitado diferente das outras proteínas conhecidas e denominou-a de nucleína. Este precipitado recebeu esse nome porque estava presente no núcleo das células; no entanto, Miescher não sabia que se tratava do material genético, sendo sua descoberta pouco relevante na época. (SCHEID, 2006, p. 45 apud OLBY, 1994; MAYR, 1998).

¹⁴ O Projeto Genoma Humano tinha como objetivo principal identificar a sequência dos pares de bases que compõem o DNA. Esse projeto foi iniciado em 1990 e concluído em 2003. (ZATZ, 2000).

Em 1889, Richard Altmann (1852-1900), por meio de análises de amostras que não apresentavam contaminação por proteínas, confirmou que as nucleínas tinham caráter ácido e, com isso, denominou essa substância de ácido nucleico. Albrecht Kossel (1853-1927) e colaboradores, trabalhando com ácidos nucleicos de leveduras e de células da timo, observaram que o ácido nucleico era composto por quatro bases nitrogenadas (adenina, timina, citosina e guanina), pentose e uma molécula de fosfato. A organização estrutural dos ácidos nucleicos foi estabelecida em 1909 com os estudos de Phoebis Levine (1869-1940) e Walter Jacobs (1883-1967), que indicavam que as moléculas de fosfato, de pentose e de bases nitrogenadas estavam unidas entre si formando uma unidade, o nucleotídeo. (OLBY, 1994, p. 87).

Nesse contexto, Levine sugeriu a hipótese tetranucleotídica que, devido aos conhecimentos disponíveis acerca dos ácidos nucleicos, teve grande aceitação pela comunidade científica. Essa hipótese apresentava os ácidos nucleicos como moléculas pequenas e simples, na qual todas as bases nitrogenadas se encontravam na mesma frequência. (OLBY, 1994, p. 73-87). As proteínas eram consideradas moléculas maiores e mais complexas que os ácidos nucleicos. Desse modo, as proteínas eram as substâncias mais confiáveis para se atribuir a função de armazenar a informação genética e, aos ácidos nucleicos, foi conferida a função de auxiliar na expressão e na duplicação do material genético. (OLBY, 1994, p. 152).

Concomitante às pesquisas realizadas sobre ácidos nucleicos, desenvolviam-se atividades experimentais com outros objetivos científicos, entre eles, buscava-se uma vacina para a pneumonia. Em 1927, Frederick Griffith (1877-1941), realizando experimentos com duas cepas de pneumococos (uma cepa patogênica e outra não patogênica), observou que pneumococos patogênicos mortos não provocavam a doença; no entanto, quando esses pneumococos eram colocados com pneumococos não patogênicos vivos, estes se tornavam patogênicos e capazes de transmitir essa nova característica para os seus descendentes. Griffith publicou os resultados de seus estudos em 1928, deduzindo que havia uma substância capaz de induzir essa transformação; contudo, não conseguiu explicar o que tinha ocorrido. (OLBY, 1994, p. 175-178). Neufeld e Levinthal repetiram os experimentos de Griffith e, ainda em 1928, confirmaram seus resultados. (OLBY, 1994, p. 178).

Instigados com os estudos de Griffith, Avery, MacLeod e McCarty desenvolveram pesquisas visando esclarecer a natureza da substância capaz de provocar a transformação bacteriana. Esses pesquisadores investigaram durante 12 anos a substância encontrada por Griffith e, em 1944, publicaram os resultados de seus estudos: a substância que provocava a transformação nas bactérias era o DNA. Rosa e Silva (2007) apresentam alguns argumentos importantes sobre o motivo por que Avery, e não Griffith, obteve sucesso no esclarecimento do princípio de transformação bacteriana. Para os autores, esses motivos são: diferentes concepções acerca da molécula de DNA¹⁵; distintas orientações metodológicas¹⁶ entre os cientistas e o estabelecimento de uma relação entre uma descoberta na área da microbiologia e outra na área da genética¹⁷. (ROSA; SILVA, 2007).

No entanto, o trabalho de Avery e seus colaboradores não foi completamente reconhecido pela comunidade de cientistas, uma vez que alguns deles acreditavam que as proteínas eram as moléculas responsáveis por armazenar a informação genética. Entretanto, as investigações desses pesquisadores incentivaram a realização de estudos que buscavam identificar as características químicas e biológicas dos ácidos nucleicos e, entre eles, destacam-se alguns pesquisadores, como Frank Macfarlane Burnet (1899-1985); Erwin Chargaff (1899-1985); Alfred Day Hershey (1908-1997); Martha Chase (1928-2003); James Watson (1928 -) e Francis Crick (1916-2004)¹⁸. (OLBY, 1994, p. 204-208).

Erwin Chargaff e seus colaboradores, investigando os componentes do DNA de diferentes espécies (bezerros, carneiros, fermento e bacilo da tuberculose), observaram que no DNA de todas as espécies estudadas as quantidades de adenina (A) e timina (T) se encontravam em proporções semelhantes, assim como as quantidades de citosina (C) e guanina (G). A

¹⁵ De acordo com Rosa e Silva (2007), na época em que Griffith anunciou seus resultados a comunidade científica acreditava que o DNA era uma molécula simples e pequena. Entretanto, quando houve a divulgação dos resultados de Avery e colaboradores ocorria o desenvolvimento da polimeria (ramo da química que estuda as macromoléculas – polímeros), o que permitiu a pesagem do DNA e a constatação de que se tratava de uma molécula maior que a proteína, possibilitando uma melhor recepção para os resultados apresentados pelo pesquisador e seus colaboradores.

¹⁶ Rosa e Silva (2007) explicam que Griffith buscava uma explicação para a transformação bacteriana a partir do ambiente que se encontravam as bactérias, enquanto Avery e colaboradores procuravam compreender a transformação a partir do próprio organismo.

¹⁷ A relação entre os resultados de Avery e colaboradores com a genética só foi estabelecida em 1946 com os estudos de Joshua Lederberg, que legitimou as bactérias como organismos confiáveis para as análises em genética. (ROSA; SILVA, 2007).

¹⁸ Para Batisteti, Araújo e Caluzi (2008, p.88-89), o trabalho de Avery e colaboradores foi praticamente ignorado. Entretanto, Watson (1997, p. 23) menciona a influência desse trabalho em suas investigações.

publicação de seus estudos, em 1950, que atualmente é conhecida como “regras de Chargaff”, forneceu evidências importantes para a compreensão da estrutura da molécula de DNA. A natureza do material genético foi confirmada em 1951 com os experimentos de Alfred Day Hershey (1908-1997) e de Martha Chase (1928-2003). Na busca da compreensão do funcionamento do gene, Francis Crick e James Watson foram personagens fundamentais para a construção do conhecimento acerca da hereditariedade. No entanto, Watson e Crick perceberam que era essencial que não fosse apresentada somente uma estrutura para a molécula de DNA, mas um modelo que possibilitasse uma explicação sobre o mecanismo da hereditariedade. (SILVA, 2007, p. 303).

Francis Harry Compton Crick nasceu em 1916 em Northampton na Inglaterra, formou-se em Física pelo University College, de Londres, e obteve seu PhD pela Universidade de Cambridge. Apesar de sua formação em física, Crick apresentou grande interesse em investigar as questões acerca da hereditariedade que instigavam os cientistas de sua época. Um dos fatores que levou Crick a se interessar pelas questões biológicas foi a leitura do livro de Erwin Schrödinger, *What is Life¹⁹?*, publicado em 1944. (CRICK, 1988, p. 18; OLBY, 1994, p. 246; MADDOX, 2002, p. 158). Crick leu esse livro nos intervalos de seu trabalho na Segunda Guerra Mundial, período em que ele e outros cientistas foram convocados a estudar sobre armas de guerra, tais como as minas marítimas. (MADDOX, 2002, p. 158). Em seu livro, Schrödinger sugere que os conhecimentos da química e da física poderiam ser utilizados para resolver problemas biológicos, tais como a hereditariedade. (SCHRÖDINGER, 1997, p. 17-18).

James Dewey Watson nasceu em Chicago no ano de 1928 e, aos 15 anos, ingressou na Universidade de Chicago para estudar zoologia. Segundo Maddox (2002, p. 142), Watson leu o livro de Erwin Schrödinger, *What is Life?*, quando cursava a Universidade e direcionou seus estudos para compreender o funcionamento dos genes, concluindo seu doutorado com a orientação do microbiologista Salvador Luria na Universidade de Indiana. Salvador Luria fazia parte do grupo de pesquisa do físico Max Delbrück, e esse grupo tinha como intuito investigar a atuação dos genes, tendo como objeto de estudo os bacteriófagos (vírus que atacam as bactérias). (SILVA, 2010a, p. 72).

¹⁹ Muitos pesquisadores da época leram o livro *What is Life?*, de Erwin Schrödinger. (MADDOX, 2002, p. 122-123).

Por meio dessas pesquisas, pretendia-se descobrir como atuavam os genes. Em 1951, Watson foi para Cambridge, na Inglaterra, visando aprofundar seus conhecimentos acerca da bioquímica do gene e, no Laboratório de Cavendish, daquela Universidade, conheceu Francis Crick. Watson estava ciente dos resultados obtidos por Avery e seus colaboradores a respeito de que a substância que provocava a transformação das bactérias era o DNA; desse modo, como relata Silva (2010a, p. 72), “Watson chega a Cambridge com 23 anos de idade, sabendo que seu alvo era o DNA”. Isto também é mencionado por Watson no início de seu livro, *The Double Helix: a personal account of the discovery of the structure of DNA*. (WATSON, 1997, p. 23). Nessa época, Crick estava concluindo o seu doutorado e, apesar de seu estudo não estar relacionado diretamente à molécula de DNA, Crick também se interessava em compreender como os genes atuam.

Crick e Watson perceberam que era fundamental para o programa de pesquisa em genética molecular que a estrutura da molécula de DNA indicasse algo sobre os mecanismos da hereditariedade. (SILVA, 2007, p. 303). Dessa maneira, esses pesquisadores uniram os conhecimentos de Crick a respeito da cristalografia e de Watson sobre a genética de bacteriófagos com intuito de construir uma estrutura para a molécula de DNA. (OLBY, 1994, p. 316). Silva (2010a, p. 72-73) apresenta as metodologias de trabalho que Watson e Crick utilizaram:

(1) trabalhos empíricos com o TMV (vírus do mosaico do tabaco); (2) diálogos científicos a fim de obter o máximo de informações importantes para um possível modelo da estrutura do DNA (tais como as regras de Chargaff); (3) transposição do método de construção de modelos, largamente inspirado no trabalho do bioquímico Linus Pauling e (4) compreensão da estrutura do DNA como um meio para obter pistas sobre sua função genética. (SILVA, 2010, p. 72-73).

Nessa época, um cientista também se interessava em investigar a estrutura da molécula de DNA: Linus Carl Pauling (1901-1998), que se formou em Engenharia Química na Universidade do Estado de Oregon. Em 1922, ele foi trabalhar no laboratório de Caltech, da Universidade da Califórnia e, nas três décadas seguintes, contribuiu para a formação de uma escola de cristalografia que era renomada, à época. (OLBY, 1994, p. 267). Pauling foi um dos primeiros cientistas a aplicar a Mecânica Quântica em Química, realizando importantes estudos sobre a estrutura de proteínas e cristais e, em 1954, recebeu o Prêmio

Nobel de Química referente a seus estudos sobre a natureza das ligações químicas. Para Crick, o método que Pauling e Corey utilizaram para construir a estrutura alfa hélice para proteínas também poderia fornecer importantes contribuições acerca da estrutura da molécula de DNA. (OLBY, 1994, p. 359).

Concomitantemente, outro laboratório também estava envolvido com pesquisas acerca da estrutura do DNA, o King's College em Londres. Nesse laboratório, alguns pesquisadores, entre eles Maurice Wilkins e Rosalind Franklin, trabalhavam com técnicas de cristalografia de raios X (difração de raios X) aplicadas ao DNA, com o intuito de conhecer a estrutura dessa molécula. Maurice Wilkins (1918-2004) se formou em física pela Universidade de Cambridge e, em 1944, trabalhou no Projeto Manhattan da Universidade da Califórnia para a construção da primeira bomba atômica. Wilkins ao perceber as consequências desse projeto ficou desanimado com a física; contudo, a leitura do livro *What is Life?*, de Erwin Schrödinger, o incentivou a direcionar seus estudos para a biologia. (MADDOX, 2002, p. 132; OLBY, 1994, p. 328). Em 1946, foi para o King's College, em Londres, onde Wilkins, com difração de raios X, conseguiu imagens do DNA.

Rosalind Elsie Franklin (1920-1958) concluiu seu doutorado em físico-química, na Universidade de Cambridge, onde investigava a estrutura física dos carvões e do carbono. Em 1945, a pesquisadora foi trabalhar no Laboratório Central dos Serviços Químicos em Paris, onde utilizava técnicas de cristalografia de raios X para investigar estruturas cristalinas. (OLBY, 1994, p. 345). Em 1951, Franklin foi contratada por John Randall²⁰ para trabalhar no King's College de Londres e recebeu a função de investigar a estrutura do DNA com o auxílio do estudante de doutorado Raymond Gosling. Franklin era reconhecida pelo seu trabalho em Paris; no entanto, em Londres seu trabalho e sua reputação foram pouco considerados. (MADDOX, 2002). Franklin e Wilkins não conseguiram estabelecer um relacionamento profissional; dessa maneira, apesar de ambos investigarem a estrutura do DNA, conduziram suas pesquisas separadamente²¹.

Em busca de informações sobre a molécula de DNA, Watson assiste à apresentação de alguns resultados obtidos por Franklin e Gosling, acerca da

²⁰ John Randall, formado em física e diretor do laboratório de King's College, formou uma equipe de pesquisadores para estudarem as células vivas. (SCHEID, 2006, p. 64; SILVA, 2010b, p. 373).

²¹ Wilkins (2003) indicou alguns argumentos sobre os motivos por que ele e Rosalind Franklin não apresentaram uma estrutura para a molécula do DNA. O enfoque fornecido por Wilkins acerca da participação de Franklin nesse episódio da história da biologia é discutido por Silva (2010b).

estrutura da molécula de DNA, em um seminário realizado em 21 de novembro de 1951 no King's College. Franklin sugeriu que a molécula apresentava uma estrutura helicoidal, com provavelmente dois, três ou quatro filamentos de polinucleotídeos. (OLBY, 1994, p. 373-374; SILVA, 2010a, p.74). Tendo em vista as sugestões apresentadas por Franklin, Watson retorna para Cambridge para tentar elaborar uma estrutura para a molécula de DNA. Após seis dias da apresentação do seminário, os pesquisadores convidam Wilkins para conhecer a estrutura composta por três hélices que tinham construído. No entanto, Wilkins convida Franklin e Gosling para irem também e Franklin, ao ver o modelo, percebe suas incoerências: a estrutura não apresentava a quantidade correta de moléculas de água. (SILVA, 2010a, p. 74). Sir Lawrence Bragg, Diretor do Cavendish, ao perceber o resultado desastroso do modelo construído por Watson e Crick, exige que os dois parem de investigar a estrutura da molécula; contudo, eles continuam buscando informações sobre a molécula por meio de diálogos e reflexões científicas. (SILVA, 2010a, p. 74).

As investigações acerca da molécula de DNA continuavam sendo desenvolvidas no King's College e no laboratório de Caltech, com Linus Pauling. Franklin observou que o DNA apresentava duas formas (A e B) que se diferenciavam pelo grau de hidratação. A forma B era a mais hidratada e, em um de seus experimentos, Franklin produziu uma imagem que indicava uma estrutura helicoidal, denominada de *Picture 51*. No entanto, antes de sugerir uma estrutura, Franklin decidiu retornar aos seus estudos com a forma A, que não indicava a mesma estrutura. (OLBY, 1994, p. 375; SILVA, 2010a, p. 74). No final de 1952, Crick e Watson receberam a notícia de que Linus Pauling logo apresentaria um modelo para a estrutura do DNA.

O filho de Linus Pauling, Peter Pauling, estudava em Cavendish e relatou para Watson e Crick que seu pai e Corey tinham construído um modelo para essa molécula e que o artigo em breve seria publicado. No entanto, Peter Pauling entregou uma cópia do artigo de seu pai para Watson e Crick antes de sua publicação, o qual foi estudado pelos dois pesquisadores que perceberam que a estrutura estava incorreta, pois era um modelo de tripla hélice com os grupos de fosfato dispostos no interior da estrutura. (OLBY, 1994, p. 393-394; SILVA, 2010a, p. 74). Crick e Watson se surpreenderam com as conclusões de Pauling e Corey e decidiram que deveriam fazer algo antes que Pauling, um grande cientista, percebesse o seu erro. (OLBY, 1994, p. 395).

Diante disso, no início de 1953, Watson vai ao King's College com o intuito de obter mais informações sobre a molécula de DNA. Ao encontrar com Franklin, Watson mostra a ela a cópia do artigo de Pauling; entretanto, Franklin não colabora com as especulações de Watson. (OLBY, 1994, p. 396). Desse modo, o cientista decide conversar com Wilkins, que lhe mostra uma cópia da *Picture 51* (imagem de forma B do DNA que indicava um padrão helicoidal) produzida por Franklin em maio de 1952. Em seguida, Watson procura Max Perutz, presidente do comitê MRC (Medical Research Council), o qual permite que Watson leia o relatório de pesquisa de Franklin²². De posse dessas informações, Watson e Crick conseguem a autorização de Sir Lawrence Bragg para retornar às suas investigações acerca da molécula de DNA. (SILVA, 2010a, p. 74).

Em fevereiro de 1953, Crick e Watson conseguem elaborar uma estrutura para o DNA, na qual as regras de Chargaff são consideradas para estabelecer as ligações entre as bases nitrogenadas que foram dispostas no interior dos filamentos de polinucleotídeos. (OLBY, 1994, p. 212). Com a estrutura concluída, Watson e Crick publicam em 25 de abril de 1953 um artigo intitulado de “Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Desoxyribose Nucleic Acids” (A estrutura Molecular dos Ácidos Nucléicos: Uma Estrutura para o Ácido Desoxirribose) na revista *Nature*. O artigo com apenas 900 palavras sugeria um modelo em dupla hélice e indicava um possível mecanismo de duplicação para a molécula de DNA. E, na mesma edição²³ da revista *Nature*, foi publicado o artigo de Wilkins e seu assistente Wilson e o artigo de Franklin e Gosling, com dados experimentais que não contradiziam a hipótese da dupla hélice. (OLBY, 1994, p. 420; SILVA, 2010a, p. 75).

No mesmo ano, em 30 de maio, outro artigo de Watson e Crick é publicado na *Nature*, “Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid” (Implicações genéticas para a estrutura do ácido desoxirribonucleico). Neste artigo, os autores sugeriram que o processo de duplicação do DNA envolvia a separação dos filamentos de polinucleotídeos, no qual cada um dos dois filamentos seria utilizado como molde para a formação de outro filamento de polinucleotídeos

²² De acordo com Silva (2010, p. 75), o relatório de pesquisa de Franklin fazia parte de um trabalho do King's College, realizado por um comitê, o MRC (Medical Research Council), que tinha o objetivo de promover a pesquisa em biofísica e nas áreas médicas. Max Perutz era presidente desse comitê e colega de Watson e Crick; como o relatório de pesquisa era público, Perutz não se preocupou em entregá-lo a Crick e Watson.

²³ Os três artigos mencionados foram publicados na edição 171 da *Nature*.

complementar. (OLBY, 1994, p. 420). Pela realização desse trabalho, Crick, Watson e Wilkins receberam o Prêmio Nobel em 1961, Franklin não recebeu o Prêmio, pois havia falecido de câncer no ovário em 1958, uma vez que o prêmio é concedido apenas em vida. (SILVA, 2010a, p. 75).

Com isso, concluímos que esse episódio apresenta concepções de NdC. A proposição de uma estrutura com implicações genéticas só pôde ser proposta por Watson e Crick porque ambos se basearam no modelo de estrutura das proteínas proposto por Linus Pauling, utilizaram os resultados de investigações de Rosalind Franklin (*Picture 51* e seu relatório de pesquisa) e consideraram as relações de Erwin Chargaff para as bases nitrogenadas. Não há evidências de que Watson e Crick tenham desenvolvido trabalhos experimentais para realizar suas inferências acerca da molécula de DNA.

Esse episódio da história da biologia mostra que a ciência é uma construção coletiva e que muitas vezes não é objetiva nem neutra; no entanto, quando seus aspectos históricos não são apresentados adequadamente, este episódio pode fornecer concepções inapropriadas sobre o desenvolvimento do trabalho científico. Para compreendermos como a história da construção da estrutura da molécula de DNA é narrada nos livros didáticos de biologia, apresentaremos no capítulo seguinte algumas considerações acerca das obras didáticas.

3 PROCEDIMENTOS E ANÁLISES

Neste capítulo, apresentamos algumas descrições e análises das narrativas históricas do episódio da construção do modelo de dupla hélice. Para isso, utilizamos como parâmetro a reconstrução do episódio da história da biologia que fornecemos no capítulo anterior e, também, com base em algumas perguntas sobre a forma de ocorrência desta história, analisamos a história da ciência apresentada nos livros didáticos de biologia do Ensino Médio e apontamos as potencialidades e os problemas destas narrativas. Inicialmente, mostramos algumas considerações acerca dos livros didáticos. Em seguida, apresentamos as perguntas que propomos às obras didáticas, utilizando como base os PCN e os referenciais teóricos do ensino de ciências no que diz respeito à NdC. E, por fim, buscamos descrever e analisar as narrativas históricas que se encontram no interior dos livros didáticos de biologia.

Para o desenvolvimento de nosso estudo, selecionamos todos os livros didáticos de biologia aprovados pelo PNLD/2012. As oito obras analisadas estão organizadas em coleções de três volumes, na qual cada volume corresponde a uma série do Ensino Médio. Observamos que todas as coleções analisadas apresentam a história da construção do modelo de dupla hélice em pelo menos um de seus volumes. No quadro abaixo apresentamos os livros didáticos que fornecem esse episódio da história da biologia, com seus respectivos autores, editora, ano e volume.

Quadro 1 – Livros didáticos de biologia analisados

Obra	Autor	Editora	Ano	Volume
Bio	Lopes e Rosso	Saraiva	2010	1 e 2
Biologia	Amabis e Martho	Moderna	2010	3
Biologia	Pezzi, Gowdak e Mattos	FTD	2010	1
Biologia	Silva Júnior, Sasson e Caldini Júnior	Saraiva	2010	1 e 3
Biologia hoje	Linhares e Gewandsznajder	Ática	2011	1
Biologia para a nova geração	Mendonça e Laurence	Nova geração	2010	1
Biologia: ser protagonista	Santos, Aguilar e Oliveira	SM	2010	1 e 3
Novas bases da biologia	Bizzo	Ática	2011	1 e 3

3.1 O LIVRO DIDÁTICO

O livro didático é um relevante instrumento utilizado no processo de ensino e aprendizagem (CARNEIRO; SANTOS; MÓL, 2005; MARTINS, R., 2006; PAGLIARINI, 2007, p. 44), uma vez que fornece orientações para o trabalho do professor e auxilia os alunos na compreensão de determinados conteúdos. Mesmo com o surgimento de novas tecnologias e da grande diversidade de recursos didáticos, esse material continua sendo um dos instrumentos mais utilizados em sala de aula. (CARNEIRO; SANTOS; MÓL, 2005). Desse modo, como argumentam Carneiro, Santos e Mól (2005) as obras didáticas devem apresentar “propostas pedagógicas bem definidas e não apenas um amontoado de conteúdos”.

A preocupação com a distribuição de livros didáticos nas escolas públicas pelo Ministério da Educação teve início em 1938, com a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD) instituída por meio do Decreto-Lei nº 1.006, de 30/12/1938, que regulamentava a produção e a circulação dos livros no Brasil. (BRASIL, 2012). Em 1985, por meio do Decreto nº 91.542, de 19/8/1985, passou a ser designado de Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). (ZAMBERLAN, 2008, p. 60). A implantação do PNLD acarretou em importantes alterações no programa, entre elas, a distribuição de livros didáticos foi ampliada para todo o ensino de 1º grau e os professores adquiriram uma importante participação na indicação dos livros didáticos. (CURY, 2009).

No entanto, somente em 1994 são estabelecidos critérios para a avaliação das obras didáticas. Com isso, esse processo foi aprimorado visando a exclusão de livros que possuíssem erros conceituais, indução a erros, desatualização, preconceito ou discriminação. (BRASIL, 2012). Em 2004 o PNLD passou a atender também os alunos do ensino médio das escolas públicas, sendo que esta ampliação do programa foi denominada de Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) e instituído pela Resolução nº 38 do FNDE. (BRASIL, 2012). No ano de 2004 foram avaliados somente os livros de Matemática e de Português indicados para os alunos do primeiro ano do Ensino Médio; em 2006 todos os alunos foram beneficiados pelo programa. Posteriormente, ocorreu a unificação do PNLEM ao PNLD por meio da Resolução nº. 60, de 20/11/2009. (BRASIL, 2012). A avaliação e a distribuição dos livros didáticos de Biologia se iniciaram em 2007 e dos componentes curriculares de Física, Química, História e

Geografia ocorreram no ano seguinte; a avaliação e a distribuição de livros didáticos de todas as disciplinas foram realizadas somente em 2012. (BRASIL, 2011a, p. 6).

Para a escolha dos livros didáticos que serão utilizados por três anos nas unidades escolares é disponibilizado o Guia do Programa Nacional do Livro Didático que contém resenhas das obras aprovadas pelo PNLD. Como relatam El-Hani, Roque e Rocha (2011), é fundamental que o professor e a equipe pedagógica analisem as resenhas e selecionem o material didático mais adequado para o desenvolvimento do trabalho pedagógico da escola. Batista (2007)²⁴ ressalta que, para auxiliar na seleção dos livros, o professor pode elaborar critérios de escolha pertinentes ao desenvolvimento de seu trabalho ou pode adotar critérios definidos por pesquisadores de sua área de conhecimento.

Em 2012 as obras didáticas inscritas no PNLD foram avaliadas de acordo com os critérios comuns estabelecidos a todas as disciplinas do Ensino Médio e também foram avaliadas segundo os critérios específicos estipulados para cada componente curricular. (BRASIL, 2011, p. 9). Quando um livro didático não apresenta consonância com os critérios indicados, o livro é excluído do PNLD e no que se refere às obras didáticas de biologia, das 16 obras avaliadas, somente oito foram aprovadas. (BRASIL, 2011, p. 15). O guia de livros didáticos do PNLD apresenta uma síntese das características presentes nas obras aprovadas de biologia:

1. Apresentam correção conceitual e informações científicas atualizadas;
2. Estabelecem conexões entre Biologia e cultura: o ponto inicial e final são os conteúdos científicos;
3. Exploram a dimensão histórica do conhecimento biológico;
4. Propõem ao professor que este faça uso de textos midiáticos;
5. Promovem a articulação entre as propostas pedagógicas e a organização dos livros;
6. Estabelecem relação entre conhecimento científico e conhecimento escolar focado no conhecimento científico. (BRASIL, 2011, p. 23).

²⁴ De acordo com Batista (2007), esses critérios, além de auxiliar o professor na escolha dos livros didáticos, também podem ser utilizados no emprego dos livros didáticos em sala de aula. Em seu trabalho, a autora apresenta uma ficha de avaliação para os livros didáticos, que contém critérios referentes à HFC. Batista (2007) explica que essa ficha pode ser modificada pelos professores, possibilitando maior autonomia e reflexão acerca dos conteúdos de história da ciência.

Com isso, observamos que a história da biologia deve estar presente nos livros didáticos desta disciplina científica; entretanto, para o PNLD/2012, a inserção de aspectos históricos deve auxiliar na compreensão da construção do conhecimento científico; desse modo, um dos critérios eliminatórios de avaliação para as obras didáticas verifica se a obra:

auxilia na construção de uma visão de que o conhecimento biológico e as teorias em Biologia se constituem em modelos explicativos, elaborados em determinados contextos sociais e culturais, superando a visão a-histórica de que a vida se estabelece como uma articulação mecânica de partes. (BRASIL, 2011, p. 10).

Os critérios de avaliação das obras didáticas do PNLD são fundamentados nas orientações dos PCN. A relevância desse documento para a Educação Básica será brevemente discutida na sessão 4.2, assim como os critérios que utilizamos para elaborar as perguntas direcionadas aos livros didáticos de biologia.

3.2 DEFINIÇÃO DAS PERGUNTAS REALIZADAS AOS LIVROS DIDÁTICOS

Com o intuito de orientar a nossa investigação nos livros didáticos de biologia acerca das concepções de NdC que são veiculadas nas narrativas históricas da construção do modelo de dupla hélice, propomos as seguintes perguntas aos livros didáticos:

- 1 – Eles mencionam alguns (e quais) conhecimentos anteriores fundamentais para a construção do modelo?
- 2 – Eles fazem referência a outros cientistas?
- 3 – Como é feita esta referência?
- 4 – Eles mencionam que a dupla hélice foi apresentada como uma hipótese e não como um fato empírico?
- 5 – Eles situam a construção do modelo no contexto científico da época?

Essas perguntas foram definidas segundo as orientações dos PCNEM e dos trabalhos desenvolvidos por Lederman (2006) e por Gil-Pérez e colaboradores (2001). Os PCN foram instituídos em 1997 pelo governo federal com o intuito de implementar as reformas educacionais estabelecidas pela nova Lei de

Diretrizes e Bases²⁵ (LDB) e regulamentada pelas Diretrizes Curriculares Nacionais²⁶ (DCN). (BRASIL, 2006, p. 4). Os PCN apresentam as competências e habilidades que devem ser desenvolvidas pelos estudantes por meio da aprendizagem de cada um dos componentes curriculares. Dessa maneira, se constituem como orientações específicas para o desenvolvimento do trabalho do professor e do currículo, para a produção de materiais didáticos e para a avaliação dos sistemas de educação. Tendo em vista a importância desse documento para o Ensino, utilizamos suas recomendações para propor algumas perguntas aos livros didáticos de biologia aprovados pelo PNLD/2012. Os trabalhos de Lederman (2006) e de Gil-Pérez e colaboradores (2001) foram escolhidos por apresentarem definições pertinentes às características do trabalho ou conhecimento científico.

3.2.1 Perguntas Realizadas aos Livros Didáticos

Para a elaboração da primeira pergunta: *Eles mencionam alguns (e quais) conhecimentos anteriores fundamentais para a construção do modelo?*, observamos que os PCNEM apresentam orientações específicas acerca do tema hereditariedade. De acordo com este documento:

A descrição do material genético em sua estrutura e composição, a explicação do processo da síntese protéica, a relação entre o conjunto protéico sintetizado e as características do ser vivo e a identificação e descrição dos processos de reprodução celular são conceitos e habilidades fundamentais à compreensão do modo como a hereditariedade acontece.

Cabe também, nesse contexto, trabalhar com o aluno no sentido de ele perceber que a estrutura de dupla hélice do DNA é um modelo construído a partir dos conhecimentos sobre sua composição. (BRASIL, 1999, p. 19).

Desse modo, concluímos que para os PCNEM é fundamental que o professor, ao abordar o tema hereditariedade em sala de aula, apresente também quais conhecimentos científicos foram necessários para a compreensão e proposição de uma estrutura para molécula de DNA, possibilitando o entendimento

²⁵ A Lei de Diretrizes e Bases, estabelecida pela Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, apresenta a regulamentação do sistema de educação brasileiro com base nos princípios presentes na Constituição.

²⁶ Diretrizes Curriculares Nacionais são normas obrigatórias estabelecidas em 1998 pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) e tem como intuito garantir que todos os alunos da educação Básica aprendam determinados conteúdos, formando, assim, um currículo básico para todo o país.

de como ocorre a construção do conhecimento científico. Consideramos que os conhecimentos acerca dessa molécula se iniciaram com o experimento de Friedrich Meischer. Apesar de na época o DNA não ser reconhecido como responsável pela hereditariedade, foi a partir de sua identificação que a sua composição química começou a ser investigada. Os conhecimentos gerados²⁷ posteriormente sobre a sua composição forneceram informações para a explicação de sua estrutura. Assim, a compreensão da história da construção da estrutura do DNA envolve, também, o entendimento dos conhecimentos produzidos acerca dessa molécula e, com isso, a realização dessa pergunta se torna fundamental.

A segunda e a terceira perguntas - *Eles fazem referência a outros cientistas?* e *Como é feita esta referência?* – estão relacionadas aos pesquisadores que participaram da construção do modelo de dupla hélice. Como já apresentamos, os PCNEM indicam que o professor, ao abordar conteúdos acerca da hereditariedade, deve possibilitar que o estudante compreenda que o modelo de dupla hélice foi construído por meio de conhecimentos acerca de sua composição. (BRASIL, 1999, p. 19). No entanto, para que a aquisição desses conhecimentos científicos auxilie no entendimento da NdC é necessário prudência com relação ao modo como os cientistas que participaram desse episódio da história da biologia são apresentados. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 133) comentam que em algumas situações, o conhecimento científico é considerado como obra de gênios isolados, no qual o papel do trabalho coletivo e cooperativo entre os pesquisadores é ignorado, resultando na veiculação de uma “visão individualista e elitista da ciência”.

Apesar do modelo de dupla hélice ser de autoria de James Watson e Francis Crick, diferentes cientistas (Franklin, Crick, Pauling, Watson, Wilkins, entre outros) investigavam a molécula de DNA. O modelo da estrutura de proteínas proposto por Linus Pauling inspirou as especulações de Crick e de Watson acerca do DNA. Wilkins colaborou com Watson fornecendo uma cópia da imagem 51 obtida por Franklin e o seu relatório de pesquisa foi entregue a Watson por Max Perutz, como mencionamos anteriormente. Com isso, concluímos que, além desse modelo ter sido construído a partir de conhecimentos acerca de sua composição, também foi produzido de forma coletiva e cooperativa. Desse modo, é essencial que os livros

²⁷ Experimento realizado por Griffith com pneumococos; Investigações de Avery e colaboradores sobre o princípio da transformação bacteriana; Regras de Chargaff; Evidências empíricas de Franklin sobre o DNA, entre outros.

didáticos mencionem quais cientistas estavam envolvidos nesse acontecimento e como foi a sua participação na construção da estrutura do DNA.

Para a construção da quarta pergunta: *Eles mencionam que a dupla hélice foi apresentada como uma hipótese e não como um fato empírico?* Consideramos que o entendimento da NdC também envolve a compreensão de que a construção dos modelos, leis e teorias científicas podem ser baseados em observações e inferências. (LEDERMAN, 2006, p. 3-4). Lederman (1999) relata que as observações são percepções sensoriais de fenômenos naturais, na qual diferentes pesquisadores podem chegar a um consenso, enquanto a inferência não é resultado desse tipo de percepção. Observamos também que os PCNEM apresentam uma preocupação quanto ao papel da observação e da inferência para a compreensão de como ocorre a construção do conhecimento científico pois, segundo este documento, o ensino de biologia:

Deve permitir, ainda, a compreensão de que os modelos na ciência servem para explicar tanto aquilo que podemos observar diretamente, como também aquilo que só podemos inferir; que tais modelos são produtos da mente humana e não a própria natureza, construções mentais que procuram sempre manter a realidade observada como critério de legitimação. (BRASIL, 1999, p. 15).

Além disso, Lederman (2006, p. 3-4) relata que o “conhecimento científico é essencialmente derivado e baseado na imaginação e criatividade humana”. As explicações para fenômenos naturais requerem a utilização da criatividade e imaginação dos pesquisadores. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 129-130) também ressaltam a importância da criatividade para a ciência, afirmando que a compreensão de como ocorre o desenvolvimento do trabalho científico envolve o entendimento de que este é orientado pela criatividade, pela dúvida, pela formulação de hipóteses, de tentativas, etc. De acordo com Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 129-130), em alguns casos, o papel das hipóteses e das teorias como orientadoras das investigações científicas é desconsiderado, resultando em uma “visão empírico-indutivista e atórica”. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 130) ainda argumentam que a ciência pode ser apresentada como um conjunto de etapas que devem ser seguidas rigorosamente, ignorando a criatividade, a dúvida e o caráter tentativo da ciência, acarretando na veiculação de uma “visão rígida”.

Tendo em vista estas recomendações, concluímos que a compreensão de que o modelo de dupla hélice foi apresentado à comunidade científica como uma hipótese é essencial ao se apresentar esse episódio da história da biologia. Watson e Crick não observaram a dupla hélice, eles deduziram a partir de algumas informações acerca da molécula de DNA que ela poderia apresentar uma estrutura em dupla hélice. Esses pesquisadores se basearam no modelo de estrutura das proteínas proposto por Linus Pauling (SILVA, 2010a) e, ao construir o modelo, fundamentaram-se nos resultados de investigações de Rosalind Franklin (*Picture 51* e seu relatório de pesquisa) e nas relações de Erwin Chargaff para as bases nitrogenadas.

A quinta pergunta - *Eles situam a construção do modelo no contexto científico da época?* – faz referência ao entendimento do que estava acontecendo na ciência e qual era o problema científico da época. Como mencionamos anteriormente, os PCNEM fornecem relevantes orientações acerca do ensino de biologia, entre eles, esse documento salienta que:

Não é possível tratar, no Ensino Médio, de todo o conhecimento biológico ou de todo o conhecimento tecnológico a ele associado. Mais importante é tratar esses conhecimentos de forma contextualizada, revelando como e por que foram produzidos, em que época, apresentando a história da Biologia como um movimento não linear e frequentemente contraditório. (BRASIL, 1999, p. 19).

Com isso, concluímos que a contextualização é fundamental para a compreensão de como ocorre a construção do conhecimento científico e, em virtude disso, deve estar presente no ensino de biologia. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 131) argumentam que a omissão dos problemas que deram origem a determinado conhecimento, assim como a omissão de sua evolução, das dificuldades encontradas, entre outros, resulta na propagação da “visão aproblemática”. Para estes pesquisadores, o conhecimento científico é resultante da resposta a uma pergunta. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 131).

Para alguns historiadores (OLBY, 1994; MADDOX, 2002, p. 132; SILVA, 2010a, p. 72), Erwin Schrödinger, por meio de seu livro *O que é vida?*, indicou possíveis caminhos para se pensar em alguns problemas referentes à hereditariedade e, com isso, teria influenciado alguns cientistas que na época também estavam interessados nestas questões, entre eles James Watson, Francis

Crick e Maurice Wilkins. Além disso, no contexto científico daquela época era essencial que a estrutura do DNA indicasse algo que permitisse a compreensão dos mecanismos da hereditariedade. (SILVA, 2007, p. 303). De acordo com Silva (2007, p. 303), Crick e Watson sabiam que para o programa de pesquisa em genética molecular a importância do DNA não se encontrava somente na apresentação de seu arranjo molecular.

A omissão dos objetivos científicos dos pesquisadores envolvidos com investigações acerca da molécula de DNA também pode sugerir uma “visão aproblemática”, uma vez que Crick e Watson buscavam responder os problemas da época acerca da hereditariedade, e também pode sugerir que Rosalind Franklin partilhava dos mesmos objetivos desses cientistas.

Franklin pretendia apresentar uma estrutura para o DNA por meio de técnicas de cristalografia de raio X. (OLIVEIRA, 2009, p. 68). No entanto, como relata Oliveira (2009, p. 68), “seu interesse estava focado não no DNA em si, mas nos objetos de estudos determinados por seu laboratório. Seu interesse principal era o desenvolvimento da técnica de cristalografia de raio X”. Desse modo, como argumenta Oliveira (2009, p. 68), “o erro é colocá-la em pé de igualdade com Watson e Crick”, uma vez que possuíam objetivos científicos diferentes.

Também é importante ressaltar que não ocorreu uma disputa²⁸ entre esses cientistas; pois, como argumenta Silva (2010a, p. 79-80), Watson e Crick “não venceram a corrida para explicar a função genética do DNA pela simples razão de que, para este problema, simplesmente não havia concorrentes”. Franklin pertencia à tradição de investigação da cristalografia; dessa maneira, optou por analisar cada detalhe do DNA; no entanto, Crick e Watson estavam comprometidos com a genética e não hesitaram em propor hipóteses para a estrutura do DNA. (SILVA, 2010a, p. 89-90).

Além disso, a omissão da metodologia adotada por Watson e Crick pode sugerir uma “visão rígida, algorítmica, exata, infalível”. Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 131) relatam que nessa concepção o “método científico” é um conjunto de etapas a ser seguida mecanicamente, recusando a tudo o que se refere à criatividade, ao carácter tentativo e à dúvida. Como, já mencionamos, Watson e Crick tinham como intuito construir uma estrutura para o DNA que

²⁸ Silva (2010a, p. 79-80) argumenta que Watson sugeriu em seu livro “The double helix” a “existência de uma corrida para explicar a função genética do DNA”.

indicasse algo sobre a hereditariedade (SILVA, 2007, p. 303) e pretendiam alcançar esse objetivo “por meio de conversas científicas, intuições sobre o papel genético da DNA, algum conhecimento anterior de química e, também por meio de dados empíricos de Rosalind Franklin”. (OLIVEIRA, 2009, p. 68).

Desse modo, concluímos que a ausência de contextualização científica desse episódio da história da biologia pode veicular algumas concepções inadequadas acerca do trabalho científico, além de não seguir as orientações dos PCNEM. Assim, para a compreensão de como esse conhecimento científico foi construído, torna-se fundamental que este episódio seja situado no contexto científico de sua época.

3.3 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE BIOLOGIA PNLD/2012

Nesta seção, apresentamos algumas descrições e análises das narrativas históricas que se referem à construção da estrutura da molécula de DNA que se encontram nos livros didáticos de biologia. Para a realização desta etapa, buscamos²⁹ fornecer para cada uma das perguntas propostas aos livros didáticos um quadro geral, no qual todos os aspectos históricos relacionados a determinada pergunta são descritos sucintamente, assim como buscamos explorar as potencialidades das narrativas de um livro didático no que se refere às concepções de NdC. Nesse trabalho, optamos por apresentar as narrativas históricas que permitem maior exploração de suas potencialidades historiográficas.

Com a análise dos livros didáticos, observamos que para a primeira pergunta - *Eles mencionam alguns (e quais) conhecimentos anteriores fundamentais para a construção do modelo?* - várias obras apresentam conhecimentos científicos que foram importantes para a construção do modelo de dupla hélice, de autoria de Watson e Crick. Esses conhecimentos são descritos sucintamente no quadro 2 para cada um dos livros didáticos.

²⁹ A descrição e análise da pergunta 4 não se enquadra nessa estrutura, pois optamos por apresentar porque as narrativas históricas dos livros didáticos não satisfazem essa pergunta.

Quadro 2 – Relação entre os conhecimentos anteriores fundamentais para a construção do modelo e os livros didáticos de biologia PNLD/2012.

Livros didáticos de biologia PNLD/2012	Conhecimentos históricos fundamentais para a construção do modelo de dupla hélice
LOPES; ROSSO. Bio. Editora Saraiva, v. 1 e v. 2, 2010.	Apresenta uma breve descrição do experimento de Friedrich Miescher. Cita o trabalho de Avery e colaboradores. Menciona a relevância dos resultados empíricos de Franklin sobre o DNA.
AMABIS; MARTHO. Biologia. Editora Moderna, v. 3, 2010.	Cita o trabalho de Avery e colaboradores. Relata que Watson e Crick utilizaram várias informações obtidas por diferentes pesquisadores, mas não especifica quais foram esses conhecimentos.
PEZZI; GOWDAK; MATTOS. Biologia. Editora FTD, v.1, 2010.	Apresenta uma descrição da “relação de Chargaff”. Relata que Watson e Crick utilizaram os resultados de difração de raio X obtidos por Franklin para a construção do modelo de dupla hélice.
SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR. Biologia. Editora Saraiva, v. 1 e v. 3, 2010.	Fornece uma descrição detalhada do experimento de Friedrich Miescher (ressalta que por muitas décadas a função do DNA ficou desconhecida). Apresenta uma descrição detalhada da descoberta do DNA como material genético (Desde a realização do experimento de Griffith até as conclusões de Avery e colaboradores). Cita a importância de Franklin e Chargaff para a construção da dupla hélice.
LINHARES; GEWANDSZNAJDER. Biologia hoje. Editora Ática, v. 1, 2011.	Descreve sucintamente as conclusões de Erwin Chargaff; Apresenta brevemente o experimento de Alfred Hershey e Martha Chase. Menciona que Watson e Crick utilizaram os resultados de difração de raio X, obtidos por Franklin e Wilkins, e as “relações de Chargaff” para a construção do modelo de dupla hélice.
MENDONÇA; LAURENCE. Biologia. Editora Nova geração, v.1, 2010.	Relata que as proporções entre as bases nitrogenadas foram importantes para a construção do modelo, mas não cita a expressão “relações de Chargaff”.
SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA. Biologia: ser protagonista. Editora SM, v. 1 e v. 3, 2010.	Descreve o experimento de Griffith com pneumococos e cita a pesquisa de Avery e colaboradores.
BIZZO. Novas bases da biologia. Editora Ática, v.1 e v. 3, 2011.	Descreve detalhadamente o experimento de Chargaff e as investigações de Alfred Hershey e Martha Chase. Menciona a relevância dos resultados empíricos de Franklin sobre o DNA.

No entanto, para o desenvolvimento dessa análise, optamos por analisar as concepções de NdC presente no livro didático de Silva Júnior; Sasson e Caldini Júnior (2010), uma vez que os autores fornecem narrativas históricas que permitem maior possibilidade de exploração de suas potencialidades no que se refere à primeira pergunta.

Ao abordar o episódio da construção da estrutura da molécula de DNA, os autores descrevem o experimento de Miescher e ressaltam um ponto importante: que apesar da molécula ter sido isolada, na época não se conhecia a sua função, sendo que esta permaneceu por muitos anos desconhecida.

Os ácidos nucleicos são conhecidos há mais de 100 anos. Na segunda metade do século XX, o pesquisador suíço Friedrich Miescher retirou do núcleo de glóbulos brancos, substâncias ricas em fósforo e nitrogênio, que ele denominou, genericamente de nucleínas. Mas tarde, foi adotado o termo “ácidos nucleicos” [...]. Apesar de os ácidos nucleicos serem conhecidos há bastante tempo, a compreensão de sua importância é recente. (SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR, 2010, v. 1, p. 46).

Os autores abordam novamente esse momento da história da biologia no terceiro volume, no qual é descrito com maiores detalhes. Ao enfatizar que não se conhecia a função dos ácidos nucleicos, os autores apresentam um aspecto muito importante: que naquela época as proteínas eram consideradas como as moléculas responsáveis por armazenar a informação genética. No entanto, observamos que, ao utilizar o experimento de Avery, MacLeod e McCarthy para relacionar o experimento de Miescher à construção da estrutura da dupla hélice, o trabalho de Avery e colaboradores não é desenvolvido de maneira adequada.

Por muito tempo, o papel dos ácidos nucleicos foi um mistério. Não se sabia qual era o material genético dos seres vivos, e muitos cientistas acreditavam que essa informação estava contida em proteínas.

Somente após muitas pesquisas, em 1944 os cientistas norte-americanos Oswald Avery, Colin MacLeod e Waclyn McCarty comprovaram, por meio de engenhosas experiências que **os genes são feitos de DNA** [...]. Na década seguinte, Watson e Crick (com o inestimável auxílio de Rosalind Franklin e Erwin Chargaff) propuseram o famoso modelo em dupla-hélice para a molécula de DNA. (SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR, 2010, v. 3, p. 44–45, grifo do autor).

Na citação apresentada observamos que o modo como Silva Júnior; Sasson e Caldini Júnior (2010) inserem o experimento de Avery e colaboradores sugere que ele foi o responsável por modificar a concepção que se tinha na época acerca das proteínas e da hereditariedade. Entretanto, como já relatamos, apesar do trabalho desses pesquisadores incentivar algumas investigações³⁰ acerca das características químicas e biológicas do DNA, seu resultado não foi completamente reconhecido pela comunidade científica. Nessa época, alguns cientistas acreditavam na hipótese tetranucleotídica³¹ e, também, como relatam Rosa e Silva (2010, p. 74), naquela época as bactérias não eram consideradas como material investigativo confiável para pesquisas genéticas. Desse modo, o DNA só foi reconhecido como responsável por armazenar a informação genética em 1951 com os experimentos Alfred Day Hershey (1908-1997) e Martha Chase (1928-2003).

No que se refere ao experimento realizado por Frederick Griffith com pneumococos, percebemos que Silva Júnior; Sasson e Caldini Júnior (2010) tentam descrever um ponto importante:

Parecia claro que alguma substância do extrato havia **transformado geneticamente** parte das bactérias sem cápsula, que assim adquiriram não somente cápsula, como também virulência. Restava descobrir que substância do extrato era capaz de promover essa transformação genética. Em 1944, os geneticistas norte-americanos Avery, MacLeod e McCarthy publicaram seus resultados: haviam conseguido isolar do extrato a substância transformante; era o DNA (ácido desoxirribonucleico) de bactérias capsuladas que, quando incorporado por bactérias não capsuladas, fazia com que elas também produzissem cápsula e causassem pneumonia. (SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR, 2010, v. 1, p. 50–51, grifo do autor).

No entanto, os autores não mencionam que Griffith tentou explicar a transformação bacteriana, propondo que as bactérias não patogênicas ingeriam uma substância denominada de 'pabulum' e, com isto, adquiriram virulência. Além disso, o modo como os resultados obtidos por Avery e colaboradores são apresentados sugere que o trabalho destes pesquisadores foi superior ao de Griffith. Contudo,

³⁰ De acordo com Olby (1994, p. 204-208), o experimento de Avery e colaboradores incentivou o desenvolvimento de algumas investigações acerca dessa molécula, entre eles Erwin Chargaff (1899-1985); Alfred Day Hershey (1908-1997); Martha Chase (1928-2003); James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004).

³¹ A hipótese tetranucleotídica apresentava as proteínas como a substância responsável pelo armazenamento da informação genética, enquanto aos ácidos nucleicos era atribuída a função de auxiliar na expressão e na duplicação do material genético. (OLBY, 1994, p. 152).

Griffith anunciou seus resultados quando a comunidade científica da época acreditava que o DNA era uma molécula simples e pequena, enquanto na época em que Avery e colaboradores publicaram os seus resultados ocorria o desenvolvimento da polimeria (ramo da química que estuda as macromoléculas – polímeros). (ROSA; SILVA, 2007). De acordo com Rosa e Silva (2007), esta teoria permitiu a pesagem do DNA e a constatação de que se tratava de uma molécula maior que a proteína, permitindo uma melhor recepção para os resultados de Avery e colaboradores.

Observamos também outro fragmento importante: “Na década seguinte, Watson e Crick (com o inestimável auxílio de Rosalind Franklin e Erwin Chargaff) propuseram o famoso modelo em **dupla-hélice** para a molécula de DNA”. (SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR, 2010, v. 3, p. 44–45, grifo do autor). Apesar dos autores se preocuparem em ressaltar a importância de Franklin e Chargaff neste episódio da história da biologia, eles não mencionam em nenhuma das narrativas históricas quem foram esses pesquisadores e qual foi a contribuição deles para a construção do modelo de dupla hélice. Neste sentido, os autores fornecem uma informação importante para uma reflexão historiográfica; no entanto, este ponto não é desenvolvido.

Dessa forma, percebemos que os autores dos livros didáticos se esforçam para apresentar acontecimentos importantes que antecedem a construção do modelo de dupla hélice, entretanto, como observamos, muitas vezes não o fazem de maneira adequada.

No que se refere à segunda e à terceira pergunta - *Eles fazem referência a outros cientistas? Como é feita esta referência?* –, observamos também que vários livros didáticos fazem referência a alguns cientistas que estiveram envolvidos com a construção do modelo de dupla hélice. Desse modo, no quadro 3 apresentamos quais pesquisadores foram mencionados nas narrativas e como foi realizada a sua referência no livro didático. Como relatam Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 133), em algumas situações o conhecimento científico pode ser considerado como o resultado de trabalho de gênios, no qual o papel do trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas é ignorado, resultando na veiculação de uma “visão individualista e elitista da ciência”.

Quadro 3 – Relação entre os livros didáticos e o modo de apresentação dos cientistas nas narrativas históricas

Livros didáticos de biologia PNLD/2012	Cientistas apresentados nas narrativas	Referência realizada aos pesquisadores nas narrativas
LOPES; ROSSO. Bio. Editora Saraiva, v. 1 e v. 2, 2010.	Meischer; Avery; MacLeod; McCarty; Franklin; Wilkins; Watson e Crick.	Apesar de apresentar poucas informações, é ressaltado o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.
AMABIS; MARTHO. Biologia. Editora Moderna, v. 3, 2010.	Avery; MacLeod; McCarty; Watson e Crick.	Reconhece que a construção da estrutura de dupla hélice foi resultado de uma atividade coletiva.
PEZZI; GOWDAK; MATTOS. Biologia. Editora FTD, v.1, 2010.	Meischer; Chargaff; Franklin; Maurice Wilkins Watson e Francis Crick.	Apesar de apresentar poucas informações, é ressaltado o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.
SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR. Biologia. Editora Saraiva, v. 1 e v. 3, 2010.	Meischer; Griffith; Avery; MacLeod McCarty; Chargaff; Franklin; Wilkins; Watson e Crick.	Apesar de apresentar poucas informações, é ressaltado o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.
LINHARES; GEWANDSZNAJDER. Biologia hoje. Editora Ática, v. 1, 2011.	Chargaff; Hershey e Chase; Franklin; Wilkins; Watson e Crick.	Apesar de apresentar poucas informações, é ressaltado o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.
MENDONÇA; LAURENCE. Biologia. Editora Nova geração, v.1, 2010.	Watson e Crick.	O modelo é apresentado somente como resultado do trabalho de Crick e Watson.
SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA. Biologia: ser protagonista. Editora SM, v. 1 e v. 3, 2010.	Meischer; Griffith; Avery; MacLeod McCarty; Watson e Crick.	Apesar de relatarem que outros cientistas estavam envolvidos em pesquisas com o DNA, não mencionam sua participação na construção do modelo.
BIZZO. Novas bases da biologia. Editora Ática, v.1 e v. 3, 2011.	Chargaff; Hershey; Chase; Franklin; Wilkins; James Watson e Crick.	Apesar de apresentar poucas informações, é ressaltado o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas.

Para o desenvolvimento dessa análise, consideramos que o livro de Linhares e Gewandsznajder (2011) apresenta narrativas históricas que permitem maior possibilidade de exploração de suas potencialidades no que se refere à segunda e à terceira pergunta: Eles fazem referência a outros cientistas? Como é feita esta referência?

Os autores relatam que:

Em 1952, na Inglaterra, os pesquisadores Maurice Wilkins (1916-2004) e Rosalind Franklin (1920-1958) examinavam o DNA com uma técnica conhecida como difração de raios X (figura 13.1). Utilizando essas observações, o inglês Francis Crick (1916-2004) e o norte-americano James Watson (1928-) começaram a construir um modelo para a molécula que explicasse a imagem obtida pelos raios X e também os dados obtidos da Química – como o fato do número de adeninas ser igual ao de timinas e os de citosina ser igual ao de guanina [...]

Pelo seu trabalho, Watson, Crick e Wilkins ganharam o prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia em 1962 (o prêmio só é concedido em vida, e Rosalind Franklin faleceu em 1958). (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2011, v.1, p. 192-193).

Observamos nesta citação que, além de Watson e Crick, são apresentados dois cientistas fundamentais para a construção do modelo de dupla hélice, Franklin e Wilkins. Além disso, ao realizar essa referência, os autores demonstram que ocorreu um trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas. Essa ocorrência se torna mais evidente na seguinte frase “Pelo seu trabalho, Watson, Crick e Wilkins ganharam o prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia em 1962 (o prêmio só é concedido em vida, e Rosalind Franklin faleceu em 1958)”. (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2011, v. 1, p. 192-193). Apesar do nome de Erwin Chargaff não ser mencionado nesta narrativa, os autores ressaltam a importância de seus resultados para a elaboração do modelo de dupla hélice. Além disso, percebemos que Linhares e Gewandsznajder (2011) apresentam informações importantes sobre Chargaff e seu experimento em outra narrativa histórica situada no mesmo livro didático. Ao finalizar a narrativa, os autores buscam relacioná-la com o episódio da construção do modelo de dupla hélice, o que observamos no seguinte trecho: “Essa descoberta foi uma grande pista para a construção do modelo de estrutura do DNA com duas cadeias emparelhadas (T com A e C com G)”. (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2011, v. 1, p. 195).

Nas narrativas históricas analisadas não encontramos nenhuma referência a Linus Pauling, pesquisador que teve uma participação importante neste episódio da história da biologia, uma vez que também buscava apresentar uma estrutura para a molécula de DNA e seu modelo da estrutura das proteínas inspirou as investigações de Crick e Watson acerca da molécula DNA. Desse modo, a

omissão de Pauling poderia sugerir que este cientista não esteve envolvido na história da construção do modelo de dupla hélice.

No entanto, são apresentados vários pesquisadores que estiveram envolvidos com investigações sobre a molécula de DNA e é ressaltada a colaboração científica entre eles. Desse modo, concluímos que este livro didático não veicula a seguinte concepção inadequada sobre o trabalho científico: “visão individualista e elitista da ciência”, descrita por Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 133). Na concepção “visão individualista e elitista da ciência” o trabalho coletivo e cooperativo entre os cientistas é ignorado, sendo o conhecimento científico apresentado como obra de “gênios isolados”. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 133).

No que se refere à quarta pergunta - *Eles mencionam que a dupla hélice foi apresentada como uma hipótese e não como um fato empírico?* -, como já vimos, Crick e Watson não observaram a dupla hélice, eles deduziram a partir de algumas informações acerca da molécula de DNA que ela poderia apresentar uma estrutura em dupla hélice. Watson e Crick mencionam em seu artigo “Molecular structure of the nucleic acids” que tinham dúvidas sobre o modelo, sendo que era necessário que este fosse confirmado empiricamente³². (WATSON; CRICK, 1953a, p. 737). De acordo com Silva (2010a, p. 89):

[...] Watson e Crick, como atestam seus artigos iniciais, não estavam tão interessados no DNA em si quanto estavam em suas consequências (estruturais) para explicar fenômenos genéticos, e não hesitam em propor livremente hipóteses pressupondo a dupla hélice. (SILVA, 2010a, p. 89).

Ao analisar as narrativas históricas que se encontram no interior das obras didáticas, não tínhamos a pretensão de encontrar a expressão “hipótese” nas narrativas, mas algo que sugerisse que o modelo não estava confirmado empiricamente. No entanto, observamos que nenhum dos livros apresenta essa ideia; desse modo, para essa pergunta optamos por fornecer alguns trechos das narrativas históricas que possibilitaram essa conclusão.

Iniciamos com as seguintes citações “Sem os dados de Rosalind Franklin sobre o DNA, James Watson e Francis Crick não teriam determinado a molécula de DNA na data em que o fizeram” (LOPES; ROSSO, 2010, v.1, p. 281),

³² Watson e Crick (1953b, p. 965) também comentam sobre a necessidade da comprovação da estrutura da molécula do DNA por meio de resultados experimentais.

“Watson e Crick reuniram uma série de informações obtidas por diversos pesquisadores ao longo de décadas de trabalho experimental e desenvolveram com sucesso um modelo para a molécula de DNA” (AMABIS; MARTHO, 2010, v.3, p. 120), “Watson e Crick (com o inestimável auxílio de Rosalind Franklin e Erwin Chargaff) propuseram o famoso modelo em dupla-hélice para a molécula de DNA” (SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR, 2010, v.3, p. 44–45) e “Os resultados das pesquisas desenvolvidas por Wilkins e Franklin foram mostrados em 1951 a Watson e Crick e sugeriram que a estrutura molecular do DNA deveria ser helicoidal”. (BIZZO, 2011, v.1, p. 121). Observamos que os autores apresentam uma preocupação em esclarecer que Crick e Watson utilizaram os resultados experimentais de outros pesquisadores para construir o modelo de dupla hélice. No entanto, os autores não mencionam que esses resultados foram utilizados por Watson e Crick para inferir uma estrutura para o DNA e que eles tinham dúvidas quanto ao modelo que apresentaram. Com isso, concluímos que os autores dos livros didáticos apresentam informações importantes, mas elas não são aprofundadas.

Nos seguintes trechos: “Baseados em imagens da molécula, obtidas por difração de raios X e dados sobre sua composição, eles propuseram o modelo da estrutura em dupla-hélice do DNA” (PEZZI; GOWDAK; MATTOS, 2010, v.1, p. 114) e “Utilizando essas observações [...] começaram a construir um modelo para a molécula que explicasse a imagem obtida pelos raios X [...]” (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2011, v.1, p. 192-193), os autores também se preocupam em explicar que Crick e Watson não construíram o modelo de dupla hélice por meio de seus resultados experimentais. No entanto, a maneira como os autores apresentam as informações sobre como Crick e Watson construíram o modelo de dupla hélice sugere que eles observaram esse modelo em uma imagem da molécula obtida por outro pesquisador e não que realizaram uma inferência.

E, por fim, apresentamos as seguintes citações: “[...] James Watson (1928-) e o inglês Francis Crick (1916-2004) elaboraram um modelo tridimensional que demonstrava a estrutura química e as propriedades físicas da molécula de DNA.” (SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA, 2010, v. 1, p. 191) e “O esquema a seguir mostra o modelo da estrutura da molécula de DNA como foi estabelecido pelos cientistas James Watson e Francis Crick, em 1953, e aceito até hoje.” (MENDONÇA; LAURENCE, 2010, v. 1, p. 24). Nestas passagens, observamos que os autores não

explicam de maneira adequada como o modelo de dupla hélice foi apresentado à comunidade científica e isso pode sugerir que este modelo foi observado pelos autores em suas investigações com a molécula de DNA.

Com a análise das narrativas observamos que nenhum dos livros didáticos explica se Crick e Watson observaram ou inferiram uma estrutura para a molécula do DNA. A hipótese da dupla hélice é um exemplo de que o conhecimento científico não é construído somente a partir de etapas que devem ser seguidas criteriosamente, mas que envolve a imaginação, a criatividade e a dúvida dos cientistas. Além disso, a hipótese da dupla hélice nos permite compreender a relevância das hipóteses e teorias como orientadoras das investigações científicas. Desse modo, a omissão da hipótese da dupla hélice nas narrativas históricas pode veicular concepções inapropriadas acerca da atividade científica, tais como “visão empírico-indutivista e ateórica” e a “visão rígida”. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 129-130).

Com a análise dos livros didáticos observamos que nenhuma das obras satisfaz a quinta pergunta - *Eles situam a construção do modelo no contexto científico da época?* -; ou seja, nenhuma das obras didáticas apresenta narrativas que permitem a compreensão de como e por que a estrutura do DNA foi construída. Apesar das narrativas históricas não possibilitarem essa compreensão, elas apresentam algumas informações que estão relacionadas ao contexto científico daquela época, e em virtude disso, no quadro 5 fornecemos sucintamente essas informações.

Quadro 4 – Aspectos relacionados ao contexto científico da época nos livros didáticos de biologia PNLD/2012

Livros didáticos de biologia PNLD/2012	Aspectos relacionados ao contexto científico da época
LOPES; ROSSO. Bio. Editora Saraiva, v. 1 e v. 2, 2010.	Menciona que Watson e Crick utilizaram os dados de Franklin para a construção do modelo de dupla hélice do DNA.
AMABIS; MARTHO. Biologia. Editora Moderna, v. 3, 2010.	Relata que Crick e Watson construíram o modelo baseados em informações obtidas por diferentes pesquisadores.
PEZZI; GOWDAK; MATTOS. Biologia. Editora FTD, v.1, 2010.	Menciona que Franklin e Wilkins trabalhavam com difrações de raios X e relata que as imagens obtidas por Franklin foram utilizadas por Watson e Crick para a construção do modelo de dupla hélice.
SILVA JÚNIOR; SASSON; CALDINI JÚNIOR. Biologia. Editora Saraiva, v. 1 e v. 3, 2010.	Cita que Watson e Crick apresentaram um modelo para o DNA com o auxílio de Franklin e Chargaff.
LINHARES; GEWANDSZNAJDER. Biologia hoje. Editora Ática, v. 1, 2011.	Menciona que Franklin e Wilkins trabalhavam com difrações de raios X e relata que as imagens obtidas por Franklin foram utilizadas por Watson e Crick para a construção do modelo de dupla hélice.
MENDONÇA; LAURENCE. Biologia. Editora Nova geração, v.1, 2010.	Cita somente que Watson e Crick apresentaram um modelo para o DNA.
SANTOS; AGUILAR; OLIVEIRA. Biologia: ser protagonista. Editora SM, v. 1 e v. 3, 2010.	Narra somente que Watson e Crick apresentaram um modelo para o DNA.
BIZZO. Novas bases da biologia. Editora Ática, v.1 e v. 3, 2011.	Relata que Crick e Watson utilizaram os resultados de pesquisas de Wilkins e de Franklin para construir o modelo de dupla hélice.

Apesar de nenhum dos livros didáticos situar o episódio da construção da dupla hélice em seu contexto científico, consideramos que a obra de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010) e a obra de Linhares e Gewandsznajder (2011) apresentam narrativas históricas que permitem maior possibilidade de exploração de suas potencialidades historiográficas. Entretanto, como já utilizamos as narrativas que se encontram na obra de Linhares e Gewandsznajder (2011), optamos, para a quinta pergunta, explorar as potencialidades historiográficas presentes na obra de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010).

Observamos que na citação abaixo os autores apresentam informações importantes que poderiam proporcionar o desenvolvimento de reflexões historiográficas.

Trabalhando na Universidade de Cambridge, em 1953, o inglês Francis Crick e o norte-americano James Watson, juntando informações das imagens obtidas por Rosalind Franklin em pesquisas realizadas anteriormente, desvendaram a estrutura do DNA. Baseados em imagens da molécula, obtidas por **difração** de raios X e dados sobre sua composição, eles propuseram o modelo da estrutura em dupla-hélice do DNA. (PEZZI; GOWDAK; MATTOS, 2010, v.1, p. 114, grifo do autor).

Os autores relatam que Crick e Watson buscavam construir uma estrutura para a molécula do DNA e que eles utilizaram os resultados de pesquisa de outros cientistas. Observamos também que Pezzi, Gowdak e Mattos (2010) apresentam uma preocupação em distinguir as metodologias de trabalho adotadas por Franklin e por Watson/Crick, assim como esclarecem que Crick e Watson não desenvolveram trabalhos empíricos para construir o modelo de dupla hélice. Consideramos que essas informações são importantes, uma vez que a sua exploração possibilitaria o desenvolvimento de reflexões historiográficas. No entanto, a leitura dessa passagem pode sugerir que os pesquisadores apresentados possuíam os mesmos objetivos científicos. Contudo, como já apresentamos, Franklin investigava a molécula de DNA com objetivos científicos diferentes dos de Watson e Crick. Franklin investigava a molécula de DNA, mas seu objetivo principal era o desenvolvimento das técnicas de cristalografia de raios X (OLIVEIRA, 2009, p. 68), enquanto Crick e Watson pretendiam construir uma estrutura para o DNA que indicasse algo sobre os mecanismos da hereditariedade. (SILVA, 2007, p. 303).

Os autores não mencionam por que Watson e Crick estavam trabalhando em busca de uma estrutura para o DNA e qual era a importância de se apresentar uma estrutura para essa molécula. Neste ponto, seria interessante apresentar ao leitor que naquela época estava ocorrendo o desenvolvimento de um programa de pesquisa em genética molecular e que Watson e Crick sabiam que a relevância do DNA não consistia apenas na apresentação de seu arranjo molecular. (SILVA, 2007, p. 303). Além disso, também é importante explicar ao leitor que alguns cientistas, entre eles Watson e Crick, foram influenciados pela leitura do livro *O que*

é *vida?*, de Erwin Schrödinger, para pensar em alguns problemas referentes à hereditariedade. (OLBY, 1994; MADDOX, 2002, p. 132; SILVA, 2010a, p. 72).

Desse modo, esses pesquisadores buscavam resolver um problema: apresentar uma estrutura para a molécula de DNA que indicasse os mecanismos da hereditariedade. (SILVA, 2007, p. 303). Como a omissão desta ocorrência não ocorre somente no livro de Pezzi, Gowdak e Mattos (2010), todos os livros didáticos de biologia podem veicular a “visão aproblemática”, descrita por Gil-Pérez e colaboradores (2001, p. 131). Nessa concepção, o conhecimento científico é apresentado como um conhecimento já elaborado, no qual não são considerados os problemas que lhe deram origem e qual foi a sua evolução. (GIL-PÉREZ et al., 2001, p. 131).

Desse modo, consideramos que esses autores fornecem informações importantes, mas que não são aprofundadas e com isso não possibilita a compreensão de seu contexto científico. Desse modo, ao apresentar a história da construção do modelo de dupla hélice é importante ressaltar como e por que esse conhecimento científico foi produzido. Com isso, as narrativas históricas devem mencionar quais eram os objetivos científicos dos pesquisadores que investigavam a molécula de DNA, qual era sua metodologia de trabalho e como Watson e Crick sugeriram uma estrutura para essa molécula.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste trabalho, concluímos que os livros didáticos de biologia do PNLD/2012 não apresentam somente conceitos científicos, como também abordam conteúdos históricos e, no que se refere ao episódio da construção da dupla hélice, observamos que todos os manuais didáticos possuem narrativas históricas sobre esse episódio da história da biologia. Como já mencionamos, os PCN orientam para que sejam utilizados elementos de HFC para a compreensão de conceitos científicos, assim como há um consenso na literatura acerca da relevância da HFC para o ensino de ciências. Desse modo, utilizamos os PCN e os referenciais teóricos do ensino de ciências para definir algumas perguntas aos livros didáticos sobre a forma de ocorrência da história da construção do modelo de dupla hélice. E, com base nessas perguntas investigamos quais concepções de NdC podem estar presente nas narrativas históricas dos livros didáticos e exploramos as suas potencialidades.

Com esta análise, observamos que nenhum dos livros didáticos esclarece que o modelo de dupla hélice foi apresentado à comunidade científica como uma hipótese. Como já mencionamos, não tínhamos a pretensão de encontrar a expressão “hipótese” nas narrativas, mas algo que indicasse as incertezas de Crick e Watson quanto ao modelo que estavam sugerindo. Também observamos que nenhuma das narrativas históricas situa o episódio da construção da dupla hélice em seu contexto científico específico. Alguns livros didáticos apresentam informações importantes; no entanto, essas informações não são exploradas pelos autores dos destes livros e, com isso, não permitem a compreensão de seu contexto científico.

No entanto, percebemos que na maioria dos livros didáticos são apresentados alguns conhecimentos anteriores importantes para a construção do modelo de dupla hélice. Percebemos também que, apesar de não serem apresentados todos os cientistas que estavam envolvidos nesse processo, muitos autores se preocuparam em apresentar esse episódio da história da biologia como o resultado de um trabalho coletivo e cooperativo.

Com isso, concluímos que apesar dos livros didáticos de biologia PNLD/2012 veicularem algumas concepções inapropriadas acerca do trabalho científico, muitas narrativas apresentam informações importantes acerca desse

episódio da história da biologia. Como discutimos anteriormente, algumas pesquisas indicam que os professores possuem concepções inadequadas sobre a NdC. Deste modo, sendo o livro didático um dos principais recursos utilizados pelos professores para o desenvolvimento de seu trabalho, a presença de concepções inapropriadas de NdC nestes livros poderia agravar essa situação. Ressaltamos que não analisamos quais seriam as possíveis consequências da utilização destas narrativas históricas no contexto escolar, mas acreditamos que a exploração de suas potencialidades historiográficas poderia auxiliar professores e alunos na compreensão da NdC. Para um curso de doutorado, pretendemos aprofundar nossas investigações em análise de livros didáticos com perguntas fundamentadas nos documentos nacionais e referenciais teóricos do ensino de ciências sobre a forma de ocorrência da história da ciência presente nas obras didáticas.

A nossa investigação com livros didáticos não teve como objetivo defender a inserção de narrativas históricas nesses manuais, mas discutir quais concepções de NdC estão sendo veiculadas por estas narrativas. Acreditamos que utilização de HFC pode auxiliar na compreensão de como ocorre a construção do conhecimento científico. No entanto, do mesmo modo que argumenta Allchin (2003, p. 329), ressaltamos que para o ensino de ciências é fundamental a qualidade das narrativas históricas apresentadas em sala de aula, uma vez que HFC errada não contribui para a compreensão da NdC. Este trabalho faz parte de um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, e seguiu a orientação da exploração das potencialidades e problemas das narrativas históricas.

REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000.
- ACEVEDO, J. A.; VÁSQUEZ, A.; PAIXÃO, M. F.; ACEVEDO, P.; MANASSERO, M. A. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.
- ALCCHIN, Douglas. Scientific Mith-Conceptions. **Science Education**, v.87, n.3, p. 329-351, 2003.
- _____. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, abril. 2004.
- AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Biologia**. 3. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2010.
- ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. O modelo de DNA e a biologia molecular: inserção histórica para o ensino de biologia. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo: ABFHiB, v. 4, p. 139-165, 2009.
- BARBOSA, Línlya Natássia Sachs Carmelengo. **Uma reconstrução histórico-filosófica do surgimento das geometrias não euclidianas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2011.
- BATISTA, Rosana Paulo. **História da Ciência: Investigação do Tema em Livros Didáticos do Ensino Fundamental**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.
- BATISTETI, Caroline Belotto; ARAÚJO, Elaine Sandra Nabuco; CALUZI, João José. As interpretações dos estudos de Avery, MacLeod e McCarty sobre a natureza química do “fator transformante” em bactérias. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo: ABFHiB, v. 3, p. 71-94, 2008.
- BISCAINO Aline Portella. **O enfoque histórico-filosófico da ciência no ensino e na formação inicial de professores de física: estudo de caso com licenciados em situação de estágio de docência**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências e em Matemática) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.
- BIZZO, Nélio. **Novas bases da biologia**. São Paulo: Editora Ática, 2011.
- BOAS, Anderson Vilas. **A Natureza da Ciência no Ensino de Ciências conforme artigos publicados em periódicos nacionais e o seu ensino por meio de narrativas históricas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: Ciências Naturais.** Brasília: MEC, 1998.

_____. Ministério da Educação e Cultura, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio.** Brasília: MEC, 1999.

_____. Ministério da Educação e Cultura, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, 2006. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

_____. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica. **Guia de Livros Didáticos: PNLD 2012: Biologia.** Brasília, 2011.

_____. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Guia de Livros Didáticos: PNLD 2012: Apresentação.** Brasília, 2011a.

_____. Ministério da Educação. **Livro Didático: histórico.** Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-historico>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

CARMO, Viviane Arruda do. **Episódios da história da biologia e o ensino da ciência: as contribuições de Alfred Russel Wallace.** 2012. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

CARVALHO, Luiz Marcelo. A natureza da ciência e o ensino das Ciências Naturais: Tendências e perspectivas na formação de professores. **Pro-Posições**, Campinas: UNICAMP v. 12, n. 1, p. 139-150, mar. 2001.

CARNEIRO, Maria Helena da Silva; GASTAL, Maria Luiza. História e filosofia das ciências no ensino de biologia. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 11, n. 1, p. 33-39, 2005.

CARNEIRO, Maria Helena da Silva; SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MÓL, Gerson de Souza. Livros didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte: UFMG, v. 7, n.2, dez. 2005.

CHINELLI, Maura Ventura; FERREIRA, Marcus Vinícius da Silva; AGUIAR, Luiz Edmundo Vargas de. Epistemologia em sala de aula: a Natureza da Ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v.16, n.1, p. 17-35, 2010.

CUNHA, Ana Maria de Oliveira. A mudança epistemológica de professores num contexto de educação continuada. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v.7, n.2, p. 235-258, 2001.

CURY, Carlos Roberto Jamil. Livro didático como assistência ao estudante. **Rev. Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 9, n. 26, p. 119-130, jan./abr. 2009.

DELIZOICOV, Nadir Castilho; CARNEIRO, Maria Helena da Silva; DELIZOICOV, Demétrio. O movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o do seu ensino. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 10, n. 3, p. 443-460, 2004.

DRIVER, Rosalind; LEACH, Jonh; MILLAR, Robin; SCOTT, Phil. **Young peoples' images of science**. Buckingham: Open University Press. 1996.

DUARTE, Maria da Conceição. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

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

EL-HANI, Charbel Niño; ROQUE, Nádia; ROCHA, Pedro Luís Bernardo da. Livros didáticos de Biologia do Ensino Médio: resultados do PNLEM/2007. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 27, n. 1, p. 211-240, abr. 2011.

FERREIRA, Ricardo. **Watson & Crick - a história da descoberta da estrutura do DNA**. São Paulo: Odisseus, 2003.

FIORIN, Fernando Gianetti. **Mendel: Pai da Genética ou um membro de uma tradição de pesquisa?** 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2013.

GALVÃO, Cecília; REIS, Pedro; FREIRE, Sofia. A discussão de controvérsias sociocientíficas na formação de professores. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 17, n. 3, p. 505-522, 2011.

GIL PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GUERRA, Andréia; FREITAS, Jairo; REIS, José Cláudio; BRAGA, Marco Antonio. A interdisciplinaridade no ensino de ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis: UFSC, v. 15, n. 1: p. 32-46, abr. 1998.

HAUSMANN, Rudolf. **História da Biologia Molecular**. Tradução de Celma E. Lynch de Araújo Hausmann. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2002.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293–316, 2010.

LEDERMAN, Norman G. The state of science education: subject matter without context. **Electronic Journal of Science Education**, v. 3, n. 2, 1999. Disponível em: <<http://ejse.southwestern.edu/article/view/7602/5369>> Acesso em: 29 jan. 2013

LEDERMAN, Judith Sweeney; LEDERMAN, Norman G. Developing and Assessing Elementary Teachers' and Students' Understandings of Nature of Science and Scientific Inquiry. Artigo apresentado no encontro anual da **National Association for Research in Science Teaching**. Dallas, Texas. 20p. 2005.

LEDERMAN, Norman G. Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 7, n. 1, 2006. Disponível em: <http://www.ied.edu.hk/apfslt/v7_issue1/foreword/index.htm>. Acesso em: 11 jan. 2013.

LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **Biologia hoje**. São Paulo: Editora Ática, 2011.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. **Bio**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

MADDOX, Brenda. **Rosalind Franklin: the dark lady of DNA**. New York: Harper Colins, 2002.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para a aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 17-30.

MARTINS, André Ferrer P. História e filosofia da ciência: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis: UFSC, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

_____. André Ferrer P. História, filosofia, ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. **Educação: Teoria e Prática**, Rio Claro: UNESP, v. 22, n. 40, p. 5-25, maio/ago. 2012.

MARTORANO, Simone Alves de Assis; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. As concepções de ciência dos livros didáticos de química, dirigidos ao ensino médio, no tratamento da cinética química no período de 1929 a 2004. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre: UFRGS, v. 14, n.3, p. 341-355, 2009.

MATTHEWS, Michael R. Science teaching: **The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.

MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis: UFSC, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

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

- MEDEIROS, Alexandre; BEZERRA FILHO, Severino. A natureza da ciência e a instrumentação para o Ensino da Física. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.
- MEDEIROS, Ana Aline de. **Análise da historiografia de Galileu e o movimento da queda dos corpos nos livros didáticos de Física do Ensino Médio**. 2012. Trabalho de Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.
- MENDONÇA, V.; LAURENCE, J. **Biologia**. São Paulo: Editora Nova geração, 2010.
- MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. Visões de ciências em desenhos animados: uma alternativa para o debate sobre a construção do conhecimento científico em sala de aula. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 14, n. 3, p. 417-29, 2008.
- MOSS, David M.; ABRAMS, Eleanor D.; ROBB, Judith. Examining student conceptions of the nature of science. **International Journal of Science Education**, London, v. 23, n. 8, p. 771-790, 2001.
- OLBY, Robert. **The path to the double helix: The discovery of DNA**. New York: Dover, 1994.
- OLIVEIRA, Vânia Darlene Rampazzo Bachega. **As Dificuldades da Contextualização Histórica no Ensino de Biologia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2009.
- OKI, Maria da Conceição Marinho; MORADILLO, Edílson Fortuna. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.
- PAGLIARINI, Cassiano Rezende. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências – Física Básica) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.
- PEREIRA, Giulliano José Segundo Alves. **História e filosofia da ciência nos currículos das licenciaturas em Física e Química da UFRN**. 2009. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009.
- PEZZI, Antônio; GOWDAK, Demétrio Ossowski e MATTOS, Neide Simões de. **Biologia**. São Paulo: Editora FTD, 2010.
- RAMOS, Fernanda Peres. **O conceito de gene em discursos de professores pesquisadores: evolução em andamento ou revolução permanente?** 2010. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2010.
- PESSOA JR. Osvaldo. Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências? **Ciência & Ensino**, Piracicaba, v. 1, p. 4-6, set. 1996.

PRAIA, João Félix; CACHAPUZ, António Francisco Carrelhas; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 8, n. 1, p. 127–145, 2002.

PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

QUEIROZ, Salete Linhares; ALMEIDA, Maria José P. M. Do fazer ao compreender ciências: reflexões sobre o aprendizado de aluno de iniciação científica em química. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 10, n. 1, p. 41-53, 2004.

QUINTAL, João Ricardo; GUERRA, Andréia. A história da ciência no processo de ensino-aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol10/Num1/a04.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

RIBEIRO, Ruth Marina Lemos; MARTINS, Isabel. O potencial das narrativas como recursos para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos de física. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 13, n. 3, p. 293-309, 2007.

ROSA, Sandra Regina Gimenez; SILVA, Marcos Rodrigues da. A inserção da História da Ciência no Ensino de Ciências. **Maquinações - Idéias para o Ensino das Ciências**, v. 1, p. 60-61, 2007. Disponível em: <<http://www.uel.br/prograd/maquinacoes/home.html>>. Acesso em: 05 abr. 2013.

ROSA, Sandra Regina Gimenez; SILVA, Marcos Rodrigues da. A História da Ciência nos livros didáticos de Biologia do Ensino Médio: uma análise do conteúdo sobre o episódio da transformação bacteriana. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**. Florianópolis – SC: UFSC, v.3, n.2, p. 59-78, 2010.

SANTOS, Fernando Santiago dos; AGUILAR, João Batista Vicentin; OLIVEIRA, Maria Martha Argel de. **Biologia: ser protagonista**. São Paulo: Editora SM, 2010.

SÃO TIAGO, Marcelo Franco de. **Aspectos da ‘natureza da ciência’ num curso de física do ensino médio: uma abordagem histórica**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

SCHEID, Neusa Maria John; FERRARI, Nadir; DELIZOICOV, Demétrio. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 11, n. 2, p. 223-233, 2005.

SCHEID, Neusa Maria John. **A contribuição da história da biologia na formação inicial de professores de ciências biológicas**. 2006. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SCHRÖDINGER, Erwin. **O que é vida?** Tradução de Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. São Paulo: Editora Unesp, 1997.

SILVA, Marcos Rodrigues. Rosalind Franklin e seu papel na construção do modelo da dupla-hélice do DNA. In: Martins, L.A. P. et al. (Org.). **Filosofia e história da biologia**, São Paulo: ABFHiB, p. 297-310, 2007.

SILVA, Marcos Rodrigues. As controvérsias a respeito da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice. **Scientia Studia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 69-92, 2010a.

SILVA, Marcos Rodrigues. Maurice Wilkins e a polêmica acerca da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice do DNA. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo: ABFHiB, v. 5, n. 2, p. 369-384, 2010b.

SILVA JÚNIOR, César da; SASSON, Sezar; CALDINI JÚNIOR, Nelson. **Biologia**. 10. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

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

TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JR. Olival; EL-HANI, Charbel Ninõ. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

VIDAL, Paulo Henrique Oliveira; PORTO, Paulo Alves. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. **Ciência e Educação**, Bauru: UNESP, v. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

Watson, James. D.; Crick, Francis. A structure for deoxyribose nucleic acid. **Nature**, 171, p.737, 1953a.

_____. _____. Genetical implications of the structure of deoxyribose acid. **Nature**, 171, p. 964-7, 1953b.

WATSON, James D. **The double helix: A personal Account of the Discovery of the Structure of DNA**. London: Weidenfeld & Nicolson, 1997.

WILKINS, Maurice. **The third man of the double helix**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

ZAMBERLAN, Edmara Silvana Joia. **Contribuições da História e Filosofia da Ciência para o Ensino da Evolução Biológica**. 2008. Trabalho de Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2008.

ZAMBERLAN, Edmara Silvana Joia; SILVA, Marcos Rodrigues da. O ensino da evolução biológica e sua abordagem em livros didáticos. **Educação e Realidade**, Porto Alegre: UFRGS, v. 37, n. 1, p. 187-212, 2012.

ZATZ, MAYANA. Projeto genoma humano e ética. **São Paulo em Perspectiva**, v.14, n. 3, p. 47-52, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v14n3/9771.pdf>> Acesso em: 11 fev. 2013.