UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ICEB – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
MPEC – Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

Cláudio Sérgio Estevam

RNA DE INTERFERÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS: UMA FERRAMENTA DE APOIO PEDAGÓGICO

Ouro Preto, MG

Agosto/2017

Cláudio Sérgio Estevam

RNA DE INTERFERÊNCIA E O ENSINO DE CIÊNCIAS: UMA FERRAMENTA DE APOIO PEDAGÓGICO

Dissertação apresentada à Banca examinadora do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Biologia

Orientador: Prof. Dr. Leandro Márcio Moreira

Ouro Preto, MG

Agosto/2017

E851r Estevam, Cláudio Sérgio.
RNA de interferência e o ensino de ciências [manuscrito]: uma ferramenta de apoio pedagógico / Cláudio Sérgio Estevam. - 2017.
59f.:

Orientador: Prof. Dr. Leandro Márcio Moreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado Profissional em Ensino de Ciências. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências.
Área de Concentração: Ensino Básico e Educação Superior (Física, Química, Biologia).

1. Aprendizagem experimental. 2. Didática. I. Moreira, Leandro Márcio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 577.2

Catalogação: www.sisbin.ufop.br

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

UFOP
Universidade Federal de Ouro Preto

MPE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos quatro dias do mês de agosto do ano de dois mil e dezessete, na Sala de Multimídia do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) desta Universidade, às 10 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta por Prof. Dr. Leandro Márcio Moreira, orientador do trabalho e presidente da banca, Prof. Dr. João Trindade Marques, membro externo ao Programa, e Prof.ª Dr.ª Luciana Hoffert Castro Cruz, membro interna ao MPEC. A reunião teve por objetivo julgar o trabalho do aluno Cláudio Sérgio Estevam, intitulado *"RNA de interferência e o ensino de ciências: uma ferramenta de apoio pedagógico"*.

Em sessão pública, os trabalhos foram abertos pelo presidente da banca. A seguir, foi dada a palavra ao estudante para apresentação do trabalho. Em seguida, cada examinador(a) arguiu o examinado. Terminadas as arguições, procedeu-se o julgamento do trabalho, concluindo a banca examinadora por sua:

(X) Aprovação.

( ) Aprovação com _____% de aproveitamento, condicionada à entrega de revisão proposta pela banca em até 60 (sessenta) dias.

( ) Reprovação.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pelo candidato.

Ouro Preto, 04 de agosto de 2017.

Presidente

Membro Externo

Membro Interna

Candidato

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de aprendizagem por me motivar, me ofertando momentos de alegrias, e me dando sabedoria e serenidade em momentos de pressões emocionais e momentos em que o fortalecimento da fé pode estabelecer o indivíduo nos seus aspectos físicos, psicológicos e emocionais.

Ao Professor Leandro Márcio Moreira por sua orientação, companheirismo, amizade por acreditar em mim e por partilhar seu saber. Sua atenção, sugestões, compreensão e intensa participação na construção do conhecimento foram aspectos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por tudo!

Aos professores do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências que de maneira impar contribuíram com meu processo de formação.

O que dizer dos amigos. Obrigado por partilharem os momentos de dificuldades e também pelos risos... (e como rimos).

Aos membros da banca examinadora, obrigado pelas valiosas contribuições!

A minha esposa Ednalva, obrigado pelo amor, cumplicidade. Meu apoio e motivação para seguir em frente, você merece esse título de mestre obrigado!

Meus filhos ainda pequenos e já entendiam que papai precisava estudar, obrigado filhinhos.

Minha sogra Maria Dantas, partiu dias antes de me ver conquistar o título de mestre. Como me ajudou... Obrigado!

Enfim, obrigado a todos!

Cláudio

“Que se pinte de negro, que se pinte de mulato. Não só entre os alunos, mas também entre professores. Que se pinte de operário e camponês, que se pinte de povo, porque a Universidade não é patrimônio de ninguém e pertence ao povo (...).”

(CHE GUEVARA)

RESUMO

O dogma central da biologia gira em torno do processo de replicação, transcrição e tradução do ácido desoxirribonucleico, culminando na formação de proteínas que contribuem para o perfeito funcionamento do organismo. Para maior clareza deste processo é necessário um entendimento do fluxo gênico, levando em conta os diversos fatores que permitem a expressão ou inativação de um gene alvo. O RNA de interferência é um meio de silenciamento gênico mediado por RNA de dupla fita que atua no reconhecimento de uma sequência específica do RNA mensageiro, possibilitando sua fragmentação com a finalidade de bloquear a tradução desse mensageiro. O Ensino de Ciências precisa acompanhar os processos de mudanças exigidos pela sociedade. Conteúdos de genética e biologia molecular são classificados como abstratos e de difícil assimilação. Diante disso se faz necessária a utilização de estratégias alternativas que elucidem de maneira mais acessível estes conteúdos e, desta forma, contribua para o processo de ensino e aprendizagem. Este trabalho trata do desenvolvimento de uma ferramenta de apoio pedagógico que envolve conteúdos de genética, biologia molecular e biotecnologia, direcionados aos conceitos e uso de RNA de interferência. Esta ferramenta é direcionada a professores em formação ou àqueles atuantes no ensino básico e destaca-se por ser única com este propósito de transposição científica. Nesta perspectiva e pensando no RNA de interferência como um conteúdo novo a ser abordado em salas de aulas, este trabalho busca entender como a criação de um material paradidático que tenha como tema gerador o RNA de interferência, utilizada no processo de ensino e aprendizagem, pode contribuir para a apropriação de conceitos científicos sobre o ensino de genética, biologia molecular e biotecnologia. Para isto, realizamos a transposição didática do conhecimento e desenvolvemos um paradidático com enfoque na apropriação de conceitos utilizados em genética, biologia molecular e biotecnologia, tendo como mediador desta pesquisa o RNA de interferência. Aqui descrevemos os procedimentos que realizamos para culminar na confecção desse paradidático que pode possibilitar a apropriação e a realização da transposição didática deste conhecimento científico. Para realizarmos uma breve análise do nosso material utilizamos como referencial a aprendizagem significativa de Ausubel e a transposição didática de Yves Chevallard.

Palavras chave: Silenciamento gênico pós transcricional; Transposição didática; Saber científico.

ABSTRACT

The central dogma of biology revolves around the process of replication, transcription and translation of deoxyribonucleic acid, culminating in the formation of proteins that contribute to the perfect functioning of the organism. For clarity in this process is necessary to an understanding of gene flow, taking into account the various factors that allow the expression or inactivation of a target gene. The RNA interference is a means of gene silencing mediated by RNA of double tape that operates in the recognition of a specific sequence of messenger RNA, allowing their bombs with the purpose of blocking the translation of messenger. The teaching of science needs to accompany the processes of changes required by society. Contents of genetics and molecular biology are classified as abstract and difficult to assimilation. In addition it is necessary to use alternative strategies to elucidate more accessible these contents and, thus, contribute to the process of teaching and learning. This work deals with the development of a pedagogical support tool that involves genetic, molecular biology and biotechnology contents, directed to the concepts and use of interference RNA. This tool is directed to teachers in training or those who work in basic education and stands out for being unique with this purpose of scientific transposition. In this perspective and thinking of the RNA interference as a new content to be addressed in classrooms, this study seeks to understand how to create a booklet which has as theme the RNA interference, used in the process of teaching and learning, can contribute to the appropriation of scientific concepts about the teaching of genetics, molecular biology and biotechnology. For this, we performed the transposition didactics of knowledge and develop a booklet with a focus on the appropriation of concepts used in genetics, molecular biology and biotechnology, having as a mediator of this research the interference RNA. Here we describe the procedures that we execute to culminate in the preparation of this booklet which can make possible the appropriation and the achievement of teaching the transposition of scientific knowledge. To make a brief analysis of this booklet we use as a reference the meaningful learning of Ausubel and the didactic transposition of Yves Chevallard.

Keywords: Post transcriptional gene silencing; Didactic transposition; know scientific.

NOTA:

Partes do presente trabalho foram publicadas durante o mestrado em formato de artigo na revista Formaçâo@docente. Trata-se da seguinte referência:

ESTEVAM, C.S; SILVA, F.A. R; ZAMA, U.S. Pesquisa em Ensino de Ciências: Um Enfoque no Futuro do Ensino de Genética**. REVISTA FORMAÇÃO@,** v. 8, p. 5-19, n. 2016. Disponível em: <http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/fdc/article/view/1041>.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trajetória percorrida pelo saber. 28
Figura 2: Elementos da Aprendizagem significativa de David Ausubel. 31
Figura 3: Esquema do mecanismo de RNAi.. 379
Figura 4: Personagem C. elegante com expressões variadas.Cada uma destas expressões será utilizada num contexto temático. 48
Figura 5: Ilustração do processo de síntese proteica. 49
Figura 6: Representação gráfica e textual do conceito de nucleotídeo. 5155

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Compilado dos artigos encontrados por evento.....21
Quadro 2: Regras para a realização da transposição didática.....29
Quadro 3: Principais tipos de RNA. ..... **Erro! Indicador não definido.**5
Quadro 4: O uso da técnica de RNAi em diversos organismos.....40
Quadro 5: Compilado de algumas das principais técnicas utilizadas na administração de dsRNA in vivo.....42
Tabela 1: Categorização dos artigos encontrados. 23

LISTA DE ABREVIATURAS

AIDS - Síndrome da imunodeficiência adquirida

DCNEM - Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

DMRI - Doença macular degenerativa relacionada à idade

DNA - Ácido desoxirribonucleico

dsRNA - RNA de dupla fita

EAV - Vírus da artrite viral em equinos

ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

EREBIO - Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional

HCV - Vírus da hepatite C

HIV - Vírus da imunodeficiência humana

mRNA - RNA mensageiro

miRNA - microRNA

PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais

PCR – Reação em cadeia da polimerase

PNLD - Programa Nacional do Livro Didático

PNLEM - Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

RISC - Complexo de Silenciamento induzido por RNA

RNA - Ácido ribonucleico

RNAi - Interferência por RNA

rRNA - RNA ribossômico

RSV - Vírus sincicial respiratório

siRNA - Pequeno RNA de interferência

snRNA - Pequeno RNA nuclear

shRNA – Pequeno RNA em forma de grampo

tRNA - RNA transportador

WSSV - Vírus da síndrome da mancha branca

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 13
1ENSINO DE CIÊNCIAS E SUAS IMPLICAÇÕES 18
1.2 IMPLICAÇÕES DO ENSINO DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR E A IMPORTÂNCIA DA PESQUISA DOCENTE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS 19
2 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA 25
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA 30
3 O ENSINO E A LINGUAGEM DA GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR 32
3.1CONSIDERAÇÕES SOBRE O RNA DE INTERFERÊNCIA 36
3.2 O RNAI E O ENSINO 43
4 PROPOSTA DE ABORDAGEM DE CONTEÚDOS DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR 45
4.1 CAMINHOS METODOLÓGICOS 46
4.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E BREVE ANÁLISE DA PROPOSTA 47
5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS 54
REFERÊNCIAS 55

INTRODUÇÃO

O ensino e aprendizado nem sempre são precedidos pela preocupação com natureza de como esse processo ocorre Às vezes ensinamos e aprendemos sem buscar um embasamento teórico que consiga explicar o processo de ensino-aprendizagem (VASCONCELOS *et al.* 2003).

A relação professor aluno, nesse processo de ensino aprendizagem assume importância fundamental e depende de diversos fatores como: gerenciamentos de conflitos, empatia e estabelecimentos de diálogos e ferramentas diferenciadas que possibilitem ligações entre o seu conhecimento e o saber dos alunos. Desta forma, o professor precisa promover meios que oportunizem o desenvolvimento e crescimento dos alunos como cidadãos (SILVA; NAVARRO, 2016).

A percepção desse processo de ensino e aprendizagem e as diversas situações nele envolvidas levantou o interesse na observação de como se estabelecem o ensino e aprendizagem de temas ligados aos conteúdos de genética. O trabalho com ferramentas de apoio pedagógico diferenciadas tem origem na minha formação acadêmica como professor de Ciências e Biologia e na percepção das dificuldades enfrentadas por professores e alunos durante o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos relacionados à genética e questões biotecnológicas.

Em experiências na sala de aula e mesmo na Academia, já me deparei com a seguinte pergunta: por que devemos estudar o DNA? Foi assim que, em minha trajetória percebi que os profissionais do ensino precisam de uma literatura diferenciada que os possibilitem elucidar a ligação da genética e biologia molecular com o contexto de seus alunos, ou quando impossível, que pelo menos os aproxime destes conteúdos com outras ferramentas de apoio pedagógico.

Em minhas leituras percebi que estudos científicos como os trabalhos de Marín (2013) e Oliveira (2015), revelam que os conteúdos da genética e biologia molecular são classificados como abstratos e de difícil assimilação. Estes conteúdos complexos necessitam da utilização de metodologias alternativas, que comtemplem as necessidades dos professores e alunos durante o processo de ensino e aprendizagem diante de uma ciência tão dinâmica (MOREIRA, 2007). O avanço obtido em tão pouco tempo de pesquisa é impressionante e

muitas das vezes se torna difícil de ser acompanhado pelos livros didáticos utilizados no ensino (GOLDBACH; BERDOR, 2016).

O Brasil possui documentos que norteiam a execução do ensino de ciências por meio de problematização e não apenas pela introdução de conceitos distantes do saber científico (CARVALHO, 2004). Assim torna-se explícita a necessidade da inclusão de novas estratégias pedagógicas que viabilizem esta problematização. Dentre estas estratégias é possível apontar a utilização de ferramentas pedagógicas diferenciadas como, por exemplo, o material pedagógico que desenvolvemos como resultado desse trabalho. O estudo da genética pode ser trabalhado por meio da aproximação do cotidiano dos discentes, o que não seria impossível, pensando nas questões de saúde, doenças e biotecnologias intimamente ligadas à engenharia genética que permeiam a sociedade. Tal fato pode ser observado no trabalho de Menck (2010), que demostra como uma via biológica natural pode ser utilizada de forma direcionada como uma ferramenta biotecnológica a fim de possibilitar o tratamento de diversas doenças como: câncer, hepatites, doenças respiratórias e desordens neurodegenerativas. Essa contextualização pode possibilitar um maior entendimento sobre diversos mecanismos de ação de algumas patologias o que permite uma maior apropriação dos conteúdos ensinados (JUSTINA; RIPEL, 2003).

Assim como Silveira e Amabis (2003), pensamos que os discentes devem ser estimulados a relacionar os conteúdos trabalhados em sala de aula com as tecnologias atuais. Em outras palavras, os conteúdos ensinados em sala de aula devem viabilizar o embasamento para que o aluno possa discutir questões biológicas, éticas e políticas na área da genética. Isto pode contribuir para que o próprio aluno consiga elencar critérios para se posicionar frente a pontos conflitantes da área e tenha acesso crítico as diversas fontes de informações (XAVIER *et al*., 2006).

Entretanto, os alunos podem apresentar dificuldade de compreensão das diversas teorias e conceitos científicos devido ao alto nível de abstração e complexidade que são exigidos nos processos de ensino de ciências (Brasil, 1998). Por isso, pensamos que as instituições de ensino precisam exercer a função social de capacitar os alunos, para que estes possam utilizar de maneira competente a leitura e escrita, em uma relação de interação com o conhecimento científico presente nas diversas disciplinas (BRASIL, 1996). O acesso a este conhecimento científico precisa ser mediado, por meio de um processo dinâmico que permita

a existência das diversas relações culturais, norteando o conhecimento acumulado e possibilitando o aprendizado a partir das diversas estratégias da linguagem (FREITAS, 2007).

Neste sentido é preciso lançar mão de estratégias diferenciadas, como por exemplo, o produto educacional gerado como resultado desse trabalho. Estratégias como estas, podem permitir o desenvolvimento de uma postura reflexiva por parte dos discentes em relação às novas informações, bem como a percepção das limitações dos modelos científicos. Situações assim podem instigar a criticidade do educando frente aos novos conhecimentos e tecnologias (BRASIL, 1998).

Matos Filho *et al.*, (2008) relatam que o ensino de ciências está envolvido em um processo de transformação do conhecimento, no qual o saber científico precisa passar por algumas transformações para que possa ser ensinado no ambiente escolar sem maiores dificuldades. O processo de transformação sofrido pelo conhecimento científico até sua chegada à sala de aula é conhecido como **transposição didática** (CHEVALLARD, 1991). Este fenômeno será mais detalhado em capítulos posteriores.

Neste contexto, nossa intenção é colaborar com a introdução de novas informações de uma maneira diferenciada, esta pode ser vista no material de apoio pedagógico que desenvolvemos. Além disso, pretendemos sanar algumas dúvidas que sentimos em nosso dia-a-dia dentro de sala de aula. Estamos certos que as dúvidas surgem não por falta de esforços, mas, por estarmos inseridos em uma área do conhecimento que permeia por um intenso crescimento de novas informações.

Os livros didáticos não conseguem acompanhar a velocidade das novas informações da área da genética (NETO, 2015). A partir disso, é preciso a utilização de materiais paradidáticos[1] que possam suportar o professor e aluno no processo de ensino e aprendizagem destes conteúdos. Pensando nisto é que procuramos por meio deste trabalho, desenvolver um material de apoio pedagógico que apresente de forma diferenciada conteúdos de genética e biologia molecular, bem como alguns avanços tecnológicos que ainda não são abordados nos livros didáticos. Dentre estes avanços, pensamos no RNA de interferência (RNAi) como tema gerador.

[1] Materiais temáticos que possuem a declarada intenção de ensinar. Tais ferramentas podem ser utilizadas juntamente com o livro didático ou o substituindo em alguns momentos. Os paradidáticos podem conter elementos mais descontraídos para suavizar o processo de ensino (DALCIN, 2002).

Por tanto, ao encontro das necessidades do ensino, propusemos realizar uma transposição didática do conhecimento científico. Pensamos se seria possível desenvolver uma ferramenta de apoio pedagógico diferenciada, capaz de auxiliar no ensino e aprendizagem de alguns conceitos de genética e na introdução de novidades que permeiam a biologia molecular.

Acreditamos que é possível desenvolver este material, então, esse é o nosso desafio. Desta forma, o presente trabalho está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo, ressaltamos algumas das teorias da aprendizagem buscando entender como ocorre o processo de aprendizagem, bem como evidenciar algumas lacunas conceituais existentes no campo da genética, estas podem servir como obstáculo para o progresso do aprendizado dos alunos (SILVA, 2013). Realizamos considerações sobre o ensino de ciências, procuramos revelar de maneira geral as tendências do ensino de ciência na Educação Básica e Ensino Superior, buscando refletir sobre a importância e dificuldades do ensino de genética, biologia molecular e o trabalho do professor como produtor do conhecimento.

Como o produto desta dissertação visa a materialização da transposição didática de um conjunto de conhecimentos de genética e biologia molecular, no segundo capítulo, aborda-se a construção do conhecimento científico, conhecimento escolar e o processo de transposição didática. Nesta feita aproveitamos para promover uma conexão deste processo com a aprendizagem significativa de Ausubel, por consideramos ser a teoria pedagógica que mais se aproxima do nosso estudo, que envolve vários conceitos que exigem um alto nível de abstração. Para fundamentação da discussão em nosso trabalho utilizamos como referência vários autores, mas, de maneira particular nesse capítulo abordamos os aspectos epistemológicos da transposição didática do conhecimento apresentada por Chevallard, (1991).

No terceiro capítulo abordamos a linguagem central da biologia que gira em torno do processo de replicação, transcrição e tradução do ácido desoxirribonucleico (DNA), que pode ou não resultar na formação de proteínas necessárias ao perfeito funcionamento do organismo. Para maior clareza deste processo detalhamos um pouco os caminhos do fluxo gênico, levando em conta os diversos fatores que permitem a expressão ou silenciamento de um gene alvo. Posteriormente introduzimos um conteúdo ainda não contemplado nos livros didáticos: RNAi. Evidenciamos sua descoberta, sua definição, como funciona e algumas aplicabilidades da técnica de RNAi, bem como os avanços biotecnológicos possibilitados pela técnica.

No quarto capítulo, abordamos o processo de desenvolvimento textual do material de apoio pedagógico proposto, descrevemos o caminho metodológico percorrido durante sua construção, bem como os instrumentos utilizados seguido de uma breve análise. Preocupados com a linguagem utilizada na construção desse material, realizamos a transposição didática do conhecimento científico envolvido e desenvolvemos um personagem para mediar as informações contidas em nosso produto. O Personagem desenvolvido teve origem em um nematódeo amplamente utilizado em pesquisas da área da genética e que também foi o organismo modelo em que foi descrita a técnica de RNAi que laureou os pesquisadores Craig Melo e Andrew Fire com o Nobel de fisiologia ou medicina em 2006. Este organismo é o *Caenorhabditis elegans (C. elegans).* O personagem foi por nos caricaturado e o chamamos de C. elegante.

Este trabalho teve origem na reflexão sobre a seguinte questão: como uma ferramenta de apoio pedagógico que trabalhe a transposição didática de conhecimentos que envolvam o RNAi poderia contribuir para o ensino de genética, biologia molecular e biotecnologia?

1ENSINO DE CIÊNCIAS E SUAS IMPLICAÇÕES

A qualidade do ensino tem sido discutida rotineiramente (MACEDO, 1998). Questões que abordam temas como: formação docente, domínio de conteúdo e diferentes estratégias didáticas adotadas pelo professor, estão entre os mais diversificados fatores que interferem no processo de ensino e aprendizagem. Isto pode ser observado durante a condução deste processo de ensino e aprendizagem, nos diferentes níveis de escolarização (NOGUEIRA, 2007).

Segundo González-Espada (2007), fazer Ciência é complexo e exige observações racionais, argumentos, deduções, diálogo entre os pares e diferentes explicações para a natureza do conhecimento. Nessa perspectiva a formação inicial de professores requer que estes tenham conhecimento das diversas relações existentes no processo de ensino e aprendizagem. Incluir a ciência destas relações no ofício do professor nos remete a falar de uma educação científica, que é um dos objetivos do ensino de Ciências. Tal ação pode resultar na contextualização do conhecimento científico e na criação de estratégias que impactam de maneira positiva na sociedade. As relações presentes no processo de ensino e aprendizagem, quando bem trabalhadas, contribuem de forma significativa para uma educação que viabiliza ao aluno conquistar meios de construir o conhecimento científico e o relacionar com sua realidade de mundo (SASSERON; CARVALHO, 2011).

A adequação do ensino brasileiro está relacionada a uma realidade em que perduram diversas propostas de mudanças, estabelecidas por força da lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional Nº 9.394/96 (BRASIL, 1996). Regulamentada por documentos como as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – DCNEM- (BRASIL 1998) e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN – (BRASIL, 1999). Na leitura destes documentos se vê um ensino que deve preparar o aluno para o mundo atual por meio da leitura crítica, empreendendo uma educação que possa oferecer respostas às demandas sociais. Os alunos precisam desenvolver competências para que, frente as dinâmicas transformações da ciência, possam continuar a construir o conhecimento de maneira integral.

Segundo Rosa (1999), o Ensino de Ciências precisa acompanhar os processos de mudanças exigidos pela sociedade e, desta forma, contribuir para a formação de um novo sujeito que saiba se posicionar em um diálogo e tenha expressão de liberdade, na medida em que possui uma análise crítica da realidade e condições de refletir sobre sua atuação no

mundo. Para isso, é preciso um modelo de ensino que valorize os termos científicos, assuntos políticos e questões éticas presentes na educação científica sem desprezar o conhecimento do aluno. Dessa maneira, torna-se possível o estabelecimento de conexões entre estes conhecimentos e atribuições de significado ao conhecimento construído.

Vasconcelos *et al.* (2003) levantam uma questão importante sobre a preocupação despendida com a verdadeira natureza do processo de ensino e aprendizagem. Em seu trabalho, os autores falam que geralmente aprendemos e ensinamos sem nos preocuparmos em como este processo ocorre. Apontam a figura do professor como uma entidade que lança mão de alguns referenciais teóricos para que, de forma implícita ou explícita, possa explicar e orientar suas práticas. Diante do exposto, reconhecemos o contributo das diversas teorias da aprendizagem no processo de ensino e aprendizagem das ciências, porém, como o produto deste trabalho se trata de um paradidático em que trabalhamos alguns conceitos fundamentais sobre genética e biologia molecular, observamos uma maior proximidade com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel discutida por Moreira; Masini, (2006) e com a teoria da transposição didática de Yves Chevallard (1991), sobre as quais posteriormente, teceremos algumas considerações.

1.2 IMPLICAÇÕES DO ENSINO DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR E A IMPORTÂNCIA DA PESQUISA DOCENTE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Para formar professores capacitados, além de possibilitar acesso a conhecimentos relacionados aos conteúdos científicos e pedagógicos, existe a necessidade de que estes profissionais conheçam o que os pesquisadores produzem, para possibilitar a reflexão de forma continuada e aprimorar sua formação. O professor se assume como profissional do ensino quando encontra sua identidade profissional. A colação de grau não faz com que a pessoa assuma o papel de docente (PERRENOUD, 2000). A formação inicial, reflexão sobre atividades de ensino e o acompanhar de ações didáticas no processo de formação, possibilitam ao professor a obtenção da fundamentação teórica, mas, a apropriação da identidade profissional vem com vivências, educação continuada e troca de experiências (OLIVEIRA, 2009). Nessa perspectiva é necessário um maior investimento em educação continuada e na

promoção de oportunidades que possibilite que o profissional docente vivencie trocas de informações e construa sua identidade profissional.

Goldbach e Macedo, (2007) realizaram um levantamento sobre a disposição da produção do ensino de Genética e hereditariedade em eventos na área de ensino de biologia e evidenciam um baixo número de trabalhos que possuíam a temática voltada para a genética. Levantaram também que estes trabalhos eram apresentados apenas na modalidade de jogos, módulos com atividades múltiplas e palestras. A partir disso é possível perceber a escassez de trabalhos relacionados a temática da genética e avistar um campo a ser trabalhado.

Neste sentido, possibilitando a problematização e identificação das contribuições dos pesquisadores da área de Ensino de ciências e Biologia para uma possível renovação no ensino de genética, apresentamos uma análise crítica sobre a produção científica envolvendo conteúdos de genética em dois importantes eventos acadêmicos na área de Ensino de Ciências e Biologia, sendo eles o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC 2011 e 2013) e o III Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional 04 (III EREBIO, 2015).

Os textos analisados somam um total de dezenove artigos, dispostos e organizados no quadro 1, conforme o evento em que foram apresentados.

Quadro 1: Compilado dos artigos encontrados por evento

EVENTO	TÍTULO DO TRABALHO	AUTORES	Nº
VIII ENPEC 2011	Pesquisa em Ensino de Genética (2004-2010)	OLIVEIRA, T. B; SILVA, C. S. F; ZANETTI, J, C.	01
	O conceito molecular clássico de Gene como obstáculo pedagógico no Ensino e Aprendizagem de Genética	SILVÉRIO, L. E. R; MAESTRELLI, S. R. P.	02
	Estão os livros didáticos de biologia incorporando questões provindas do campo de pesquisa em ensino da área, como no caso do ensino de genética?	GOLDBACH, T; BEDOR, P.	03
	Análise do tratamento dado à história da genética pelos autores brasileiros dos livros didáticos indicados à avaliação do PNLEM-2007	BITTENCOURT, F.B; PRESTES, M. E. B.	04
	A divulgação científica como estratégia de ensino dos principais conceitos básicos de genética	RESENDE, T. A; KLAUTAU-GUIMARÂES, M. N.	05
	Temas de Genética contemporânea e o Ensino de Ciências: que materiais são produzidos pelas pesquisas e que materiais os professores utilizam?	BONZANINI, T. K; BASTOS, F.	06
IX ENPEC 2013	Análise do potencial pedagógico da exposição revolução genômica como espaço não forma de ensino de biologia	TRAZZI, P. S.S; *et al.*	07
	Aprender sobre herança genética: mais que um quadro de Punnett	MARÍN, Y. A.O.	08
	Conhecimentos básicos de genética nos livros didáticos e na literatura de referência: aproximações de distanciamentos	FRANZOLIN, F; BIZZO, N.	09
	Construção e validação de um instrumento para avaliar o entendimento dos estudantes em genética	FAVORATO, M. S; COELHO, G. R.	10
	O jogo didático como contexto para a	SILVA, V. F; *et al.*	11

	identificação de lacunas de genética sistêmica		
	Os heredogramas familiares no estudo da hereditariedade e do contexto histórico e sociocultural dos estudantes	VESTENA, R. F; *et al.*	12
	Proteínas de papel: traduzindo o que é complicado	MELIM, L. M. C; *et al.*	13
	Tendências de pesquisa sobre atividades práticas de genética	CARVALHO, E; *et al.*	14
III EREBIO Regional 4 2015	Os conceitos de genética nos livros didáticos de biologia entre as décadas de 1970 e 1990	NETO, A. L. M.	15
	O uso do gênero textual história em quadrinhos no ensino de genética para o ensino fundamental	OLIVEIRA, L, G; FRANCO, M, A, M.	16
	A arte e a história da filosofia dialogando com o museu: uma estratégia pedagógica para o ensino da genética	VIROTE, B. C. R; *et al.*	17
	Conhecimentos de genética adquiridos por alunos do ensino médio: a necessidade de repensar os processos de ensino e aprendizagem desta disciplina	FERREIRA, K. E; *et al.*	18
	Os conteúdos de genética em livros didáticos do ensino médio: itinerários de uma pesquisa	EVANGELISTA, N. A. M; CASTRO, R. P.	19

Fonte: Dados da pesquisa

Os documentos mencionados no quadro acima foram analisados considerando os seguintes aspectos descritivos: leitura dos títulos, palavras-chave e resumos. A leitura direcionada destes componentes possibilitou a categorização dos artigos baseada nos seguintes critérios: fonte, temática da pesquisa, nível de ensino pesquisado, metodologia e outros dados relevantes. Para uma melhor visualização durante a categorização, os artigos foram identificados pelo número que receberam no quadro anterior. Assim, os dados foram tabelados, analisados de maneira a permitir uma discussão sobre os mesmos nos parágrafos subsequentes. A tabela 01 apresenta a subdivisão dos trabalhos em quatro categorias que emergiram durante a leitura dos artigos.

Tabela 1: Categorização dos artigos encontrados.

Categoria	Artigo	Fonte
Situação das produções acadêmicas	01, 06, 14	VIII e IX ENPEC
Utilização de conceitos	08, 02, 19, 18, 10	VIII e IX ENPEC, III EREBIO
Análise de livros didáticos	03, 04, 09,15, 19	VIII e IX ENPEC, III EREBIO
Diferentes estratégias de ensino	05, 07, 11, 12, 13, 16, 17	VIII e IX ENPEC, III EREBIO

Fonte: Dados da pesquisa

Na primeira categoria, foram contemplados artigos que trataram as tendências das pesquisas sobre o ensino de genética e ensino de ciências, além de discutirem sobre os materiais provenientes destas pesquisas. A segunda categoria comtempla artigos que trabalham a temática da genética focando a utilização de conceitos e o obstáculo epistemológico relacionado ao aprendizado de conteúdos considerados abstratos. A terceira categoria engloba trabalhos que utilizaram a análise de livros didáticos para discutirem questões relacionadas a atualizações dos livros didáticos, história da genética e sobre a relação entre o conhecimento descrito nos livros e o conhecimento produzido pelos cientistas. A quarta categoria realiza a junção dos trabalhos que utilizaram estratégias de ensino diferenciadas como o uso de jogos didáticos, divulgação científica, atividades práticas, diferentes gêneros textuais e a utilização de educação em espaço de ensino não formal.

Diante do exposto, foi selecionado um trabalho por evento para discutir e apresentar as análises de forma mais minuciosa. Em relação aos trabalhos apresentados no VII ENPEC, foi escolhido o artigo representado pelo número 01, no IX ENPEC o artigo representado pelo número 14 e no III EREBIO da Regional 4 o artigo representado pelo número 19. A escolha

destes é justificada por se observar uma maior aproximação do escopo dos artigos, com o objetivo deste trabalho.

O artigo 01, Oliveira et al. (2011) agrupado na primeira categoria que trata das *Situação das produções acadêmicas*, tem como objetivo indicar inovações e lacunas existentes no campo do ensino de genética, buscando contribuir com o ensino desta temática. Para isto realizaram um levantamento bibliográfico em periódicos e anais de eventos da área no período compreendido entre 2004 a 2010. Segundo os autores a socialização do conhecimento científico, construído por pesquisadores e professores de diferentes níveis de ensino, ocupa lugar de ampla visualização ao serem publicados em anais de encontros científicos e periódicos da área. Em sua pesquisa eles constatam a existência de uma considerável produção científica envolvendo o ensino de genética. Apontam ainda pra questões como a fragmentação dos conceitos em livros didáticos e programas curriculares; além da presença de erros conceituais em manuais escolares. Alertam para a necessidade de atualização de livros didáticos, de maneira a acompanhar a evolução e dinamicidade dos conteúdos de genética e biotecnologia. Para, além disto, os autores salientam a escassa produção acadêmica referente à história da Ciência no Ensino de Genética.

O artigo de Carvalho et al. (2013) representado pelo número 14, também agrupado na primeira categoria, foi construído por meio de um levantamento bibliográfico de produções acadêmicas na área de ensino de biologia, contemplando atividades práticas relacionadas à genética. Os autores realizaram uma busca nas edições V, VI, VII e VIII do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências e nas revistas Ciência e Educação, Ensaio e Investigação em Ensino de Ciências. Nesta pesquisa os autores encontraram dez artigos e os distribuíram em quatro categorias: Formação de Professores, Aprendizagem, Análise de livro didático e Estado da arte. Após análise, relatam que a categoria em que mais existem publicações relacionadas a atividades práticas é a aprendizagem. Apontam ainda para baixa adesão de atividades práticas no processo de ensino e deficiente divulgação de trabalhos que utilizam recursos de baixos custos. Esses poderiam ser utilizados em atividades práticas nas escolas potencializando o aprendizado.

No artigo representado pelo número 19, agrupado na segunda categoria que engloba os trabalhos que tratam da *Utilização de conceitos*, Evangelista e Castro (2015) partem do objetivo de analisar uma coleção de livros didáticos pontuando seus conteúdos no que diz respeito ao conhecimento desenvolvido no campo da genética e quanto suas características de linguagem, esquemas e ilustrações. Na pesquisa os autores apontam para ineficácia do livro

didático como único instrumento do professor em sala de aula e para a predominância de memorização de conceitos sobre a problematização de conteúdos contextualizados e emergentes. Os autores tratam desses assuntos considerando que o livro didático como única ferramenta de suporte ao professor, não consegue englobar todos os assuntos necessários ao ensino de genética. Para, além disso, falam sobre tempo escasso e termos mal compreendidos que dificultam o entendimento de conteúdos posteriores.

É possível perceber que todos os autores partilham de uma ideia central em relação aos conteúdos de genética e a necessidade de se acompanhar a evolução deste conhecimento ativo. Esta ideia gira em torno do grau de dificuldade e abstração demandado durante o processo de ensino e aprendizagem de temas ligados à genética. Este três trabalhos sugerem ações que visam preparar os professores para realizarem atividades didáticas diferenciadas e contextualizadas.

Diante disto é preciso promover ações de incentivo as pesquisas nesta área com o objetivo de aprimorar e vincular o ensino de genética e biologia molecular de forma atualizada como um conteúdo primordial nos currículos escolares, visto que a temática em questão apresenta inúmeras potencialidades no interesse e questionamento dos alunos em relação à construção do conhecimento sobre ensino e aprendizagem de ciências.

2 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Durante o processo de comunicação do conhecimento científico, historicamente existem aqueles conhecimentos que passaram pelo crivo da sociedade e foram selecionados para compor o quadro de disciplinas obrigatórias. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), são referenciais de qualidade para a educação no ensino em todo o Brasil. Eles não são o currículo acabado e obrigatório, seu objetivo é padronizar o ensino no país, mas o seu grau de detalhes os torna parte importante do currículo do Ensino Fundamental. Funciona como o documento que norteia o currículo escolar, com o objetivo de garantir a todas as crianças e jovens brasileiros o direito de usufruir de conhecimentos que são adotados como imprescindíveis para o exercício de cidadania (MACEDO, 1998). Dentre estes conhecimentos podemos destacar os conhecimentos produzidos pela genética e biologia molecular. Ainda na Educação Básica, as orientações curriculares para o Ensino Médio trazem questões relacionadas a estratégias de aprendizagem propiciando o ensino por meio de competências,

divididos em seis temas estruturadores, a saber: interação entre seres vivos; qualidade de vida das populações humanas; diversidade da vida; transmissão da vida, ética e manipulação gênica; origem e evolução da vida. Segundo estas orientações o professor deve instruir o aluno durante o processo de aprendizagem de maneira a levá-lo a uma compreensão efetiva. Mais especificamente o documento orienta que sejam trabalhados temas que envolvam a organização celular, informações genéticas das vias regulatórias codificadas no DNA bem como os processos de duplicação transcrição e tradução do DNA, além de temas como mutação e silenciamento gênico que podem ou não impactar de forma positiva ou negativa diversos organismos (BRASIL, 2006).

O escopo da comunidade científica e o do ambiente escolar são diferentes. É sabido que aos cientistas compete a função de responder certas questões levantadas em diferentes contextos sociais e que, em momentos distintos, os achados científicos precisam ser socializados na comunidade científica e com a própria sociedade (MATOS FILHO, 2008). A partir disso é preciso certo tratamento de alguns dados científicos de maneira a torna-los mais acessíveis à sociedade. Em outras palavras, é preciso que seja realizada uma transposição didática do conhecimento produzido pelos cientistas para que ele possa ser ensinado na sala de aula.

O conceito de transposição didática já passou por diversas interpretações e seu estudo pode apontar o caminho trilhado pelo saber, contemplando sua construção e chegada à sala de aula. No processo de transição que o saber construído pelos cientistas passa até que seja ensinado em sala de aula, o professor assume uma posição na qual lhe é permitido avistar o processo de ensino e aprendizagem de maneira mais ampla (NEVES; BARROS, 2011). Nesta perspectiva o professor assume uma posição privilegiada em um ponto de vista diferente a seu ambiente habitual, pois com um olhar ampliado do processo de ensino e aprendizagem pode realizar diferentes intervenções. Neste trabalho discutiremos a transposição didática tendo como base alguns conceitos apontados por Yves Chevallard (1991).

A transposição didática é um processo de transformação, no qual o conhecimento produzido no contexto científico recebe certas adaptações com a finalidade de ser ensinado (FILHO, 2000). Neste processo de transposição do conhecimento, aparecem três patamares distintos para elencar o nível do saber: (1) **o saber sábio:** produto do trabalho dos cientistas, (2) **o saber a ensinar:** livros e manuais de ensino e (3) **o saber ensinado:** ocorre dentro da

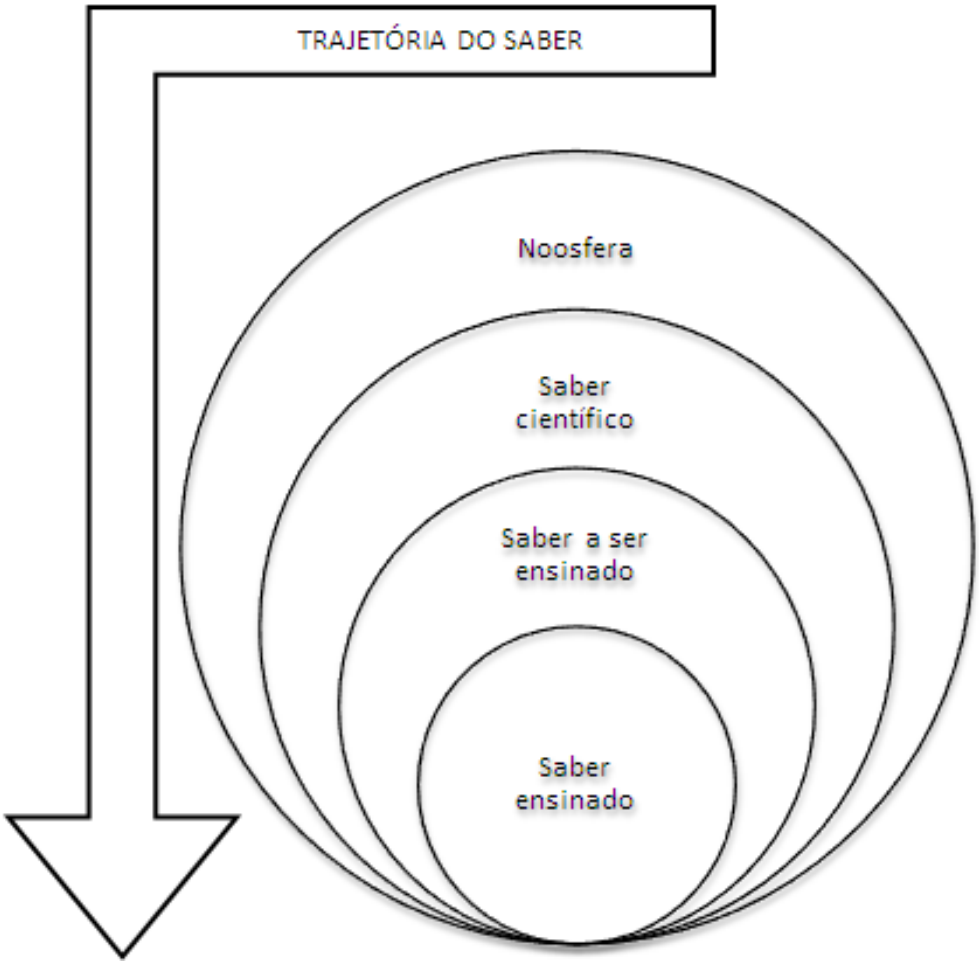
sala de aula, influenciado pelo contexto escolar). O processo de transposição didática ocorre por meio da atuação da Noosfera[2] composta por um grupo de pensadores como: pesquisadores, professores e especialistas (CHEVALLARD, 1991). Matos Filho *et al.*,(2008) citam que os trabalhos da noosfera aparecem também na forma de Referenciais Curriculares e nos documentos que estabelecem as diretrizes curriculares que norteiam o ensino de determinado conteúdo científico. Estes saberes são cercados por uma vigilância epistemológica para que o conteúdo não sofra nenhuma deformação prejudicial promovida pelo distanciamento do saber sábio em relação ao saber ensinado. Nesta perspectiva, aos agentes pensantes que compõem a noosfera sejam estes ligados a Universidades, Ministério de Educação ou a Redes de Ensino, cabe o papel de definir quais saberes serão ensinados e quais modificações serão necessárias para o novo conhecimento possa adentrar em uma sala de aula, sem que haja prejuízo do conhecimento inicial (BRASIL, 1999).

Desta forma, o objeto de ensino produto da transposição didática não incorrerá no que Chevallard (1991) chama de despersonificação, descontemporialização e descontextualizarão do conhecimento. Chevallard explica que a despersonificação esta atrelada a socialização do conhecimento à medida que o saber é publicamente apresentado a comunidade científica. A descontemporialização, o autor comenta que esta ligada ao fato de que o saber ensinado não é vinculado ao tempo e lugar em que foi originado impossibilitando uma ligação ao saber sábio. Sobre a descontextualização o autor chama a atenção para um processo de recontextualização em que os saberes ensinados são profundamente modificados sem que haja uma valorização dos elementos invariáveis do saber sábio.

Diante do exposto é possível entender que na transposição didática do conhecimento o saber passa por três distintas etapas até ser socializado em sala de aula. Na figura abaixo explicitamos a trajetória que o saber realiza no processo da transposição didática.

[2] Instituição "invisível" composta por pesquisadores, técnicos e professores que compõem a esfera pensante. Tal instituição está atrelada a definição dos saberes que deverão ser ensinados e com quais transformações eles chegarão à sala de aula CHEVALLARD, (1991).

Figura 1: Trajetória percorrida pelo saber.



Fonte: Adaptado de Matos Filho, (2008).

A figura acima explicita a trajetória percorrida pelo saber, sendo que a Noosfera está presente em todo o processo da transposição didática. Seja na raiz do conhecimento quando o saber científico é originado, na produção de manuais e documentos que transpõem o saber científico em saber a ser ensinado e por fim no saber ensinado que ocorre dentro da sala de aula.

Neves e Barros (2011) falam do potencial transformador do estudo das transposições em diferentes áreas do conhecimento. Os autores apontam para a teoria da transposição didática como uma ferramenta que pode ser utilizada na elaboração de propostas de melhorias no ensino. Para isso, realizam comparações em diferentes trabalhos que tratam do tema demostrando vários olhares sobre como deve ser efetuado o processo de transposição didática do conhecimento.

Contudo, objetivando um melhor entendimento dos processos que envolvem a construção e apropriação do conhecimento científico, Filho (2000) ressalta que a transformação do saber sábio em saber ensinado não ocorre ao acaso ou por força de circunstâncias diversas, mas, pelo objetivo de tronar ensinável determinado saber. Nesta perspectiva, por meio de uma leitura direcionada ao entendimento de como se dá o processo da transposição didática, captamos algumas informações e construímos o quadro 2. Nesse apontamos cinco regras que devem ser observadas durante o processo de transposição didática.

Quadro 2: Regras para a realização da transposição didática.

Regra	Objetivo	Breve descrição
01	Modernizar o saber escolar;	Permite acompanhar a dinamicidade da produção científica e abre espaços para a inclusão de novos conteúdos nos processos de formação de futuros profissionais.
02	Atualizar o saber a ensinar	Abre espaço para a introdução do novo e justifica a modernização do currículo.
03	Articular saber “velho“ com saber “novo”	Permite a articulação entre a nova informação que pode também esclarecer melhor o conteúdo antigo.
04	Transformar o saber em exercícios e problemas	Possibilita uma melhor operacionalização e possibilita maior aproximação do processo de avaliação da aprendizagem.
05	Tornar um conceito mais compreensível	Permite que conceitos complexos tenham sua assimilação facilitada no contexto escolar.

Adaptado de Filho, (2000).

No processo de transposição didática existe ainda um recurso a qual Chevallard (1991) chama de metatexto. Para ele este recurso se trata de um novo texto didático criado a

partir da transposição do saber sábio, em saber a ensinar. Nesta perspectiva é possível pensar no metatexto como uma estratégia que permite a apresentação de dados científicos de maneira mais contextualizada, o que pode promover uma melhor compreensão por parte do alunado.

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

É sabido que a construção do conhecimento durante o processo de ensino e aprendizagem se dá por meio de esforços em diferentes segmentos (ROSA, 1999). Aquele que se propõe a ensinar precisa ter domínio do conhecimento especifico, além disso, precisa ter conhecimentos de algumas particularidades exigidas no processo de ensino e aprendizagem (PERRENOUD, 2000). Dentre estas particularidades se encontra a ciência de como as pessoas aprendem e o entendimento das relações existentes entre os aspectos didáticos e cognitivos arrolados neste processo (NOGUEIRA, 2007).

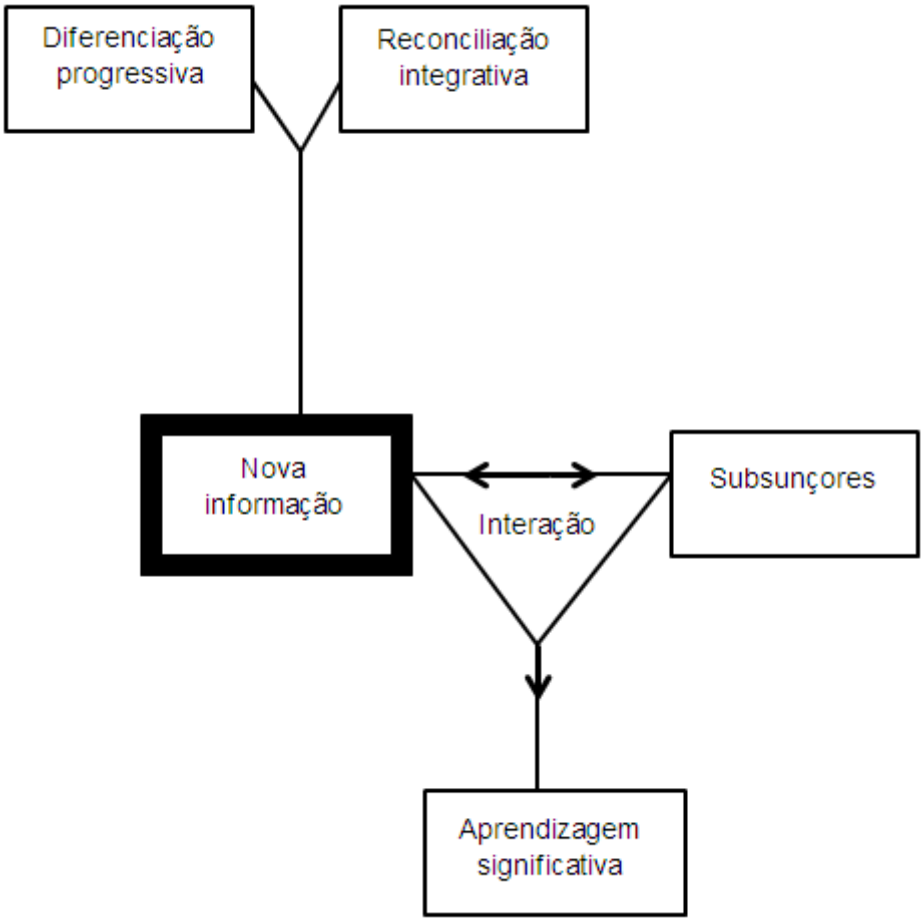
A aprendizagem passa por um processo de adaptação e acomodação na estrutura cognitiva do sujeito. Nesse processo, os significados são originados se tornando um ponto de partida para evolução de uma estrutura mental mais complexa (MOREIRA; MISANI, 2006). Podemos pensar na aprendizagem como um meio flexível de informações sintetizadas em conhecimentos mais genéricos, incorporadas na estrutura mental do sujeito (TAVARES, 2004). A esta estrutura podem ser agregadas novos elementos informacionais à medida que conceitos relevantes estejam claros e adequadamente consolidados na estrutura cognitiva do sujeito. Estes conceitos que chamamos de relevantes, são na verdade abstrações realizadas pelo indivíduo (BUCHEITZ, 2001). Na aprendizagem significativa, estes conceitos relevantes ou abstrações são tratados como conceitos subsunçores e funcionam como âncora para novas informações. Segundo a concepção ausubeliana a aprendizagem é considerada significativa quando a nova informação relacionada aos conceitos subsunçores se incorpora a estrutura cognitiva do sujeito em um processo não arbitrário (MOREIRA; MASINI, 2006).

Tavares (2004) fala da existência de três requisitos fundamentais para que se ocorra a aprendizagem significativa, são eles: a existência de conhecimento prévio, disponibilização de um novo conhecimento logicamente estruturado e atitude ativa do sujeito em conectar o conhecimento prévio com o novo conhecimento. O autor fala ainda que neste processo ocorre uma interação entre conhecimento novo e o conhecimento prévio, viabilizando que ambos sejam modificados de forma especifica por cada individuo que se propõe a aprender.

Em uma perspectiva ausubeliana, Buchweitz (2001) fala sobre a organização estrutural do conhecimento no cérebro humano. O autor menciona a existência de uma hierarquia entre os conceitos, numa relação em que conceitos mais específicos são englobados por conceitos menos específicos e mais inclusivos. Na aprendizagem significativa de Ausubel são encontrados alguns elementos básicos como a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa estes dois podem ser utilizados na construção de novos conceitos. Moreira e Masini (2006) definem a diferenciação progressiva, como um método pelo qual temas mais gerais e mais inclusivos são primeiramente apresentados, e depois progressivamente diferenciados de forma mais detalhada e específica. A reconciliação integrativa os autores definem como o método utilizado para permitir a exploração de relações entre ideias, elencar semelhanças e diferenças significativas de determinado conhecimento e ainda permitir que as discrepâncias existentes sejam reconciliadas.

Há também os conceitos subsunçores que interagindo com a nova informação resultam em uma aprendizagem significativa. Todos estes elementos estão expressos na figura 2.

Figura 2: Elementos da Aprendizagem significativa de David Ausubel.



Fonte: Adaptado de Buchweitz (2001).

Em outras palavras, durante a aprendizagem significativa, os conceitos são desenvolvidos, organizados e sofrem várias diferenciações decorrentes das diversas interações entre a nova informação e os conceitos subsunçores. Simplificando, o processo de aquisição dos significados e sua organização na estrutura cognitiva, podemos observar a hipótese da assimilação. Nesta, um conceito potencialmente significativo é assimilado na forma de uma ideia mais geral ou como um conceito mais inclusivo (MOREIRA; MISANI, 2006). Tal estratégia pode resultar na expansão do conhecimento do aprendiz, uma vez que a nova informação relacionada e assimilada por meio da interação com conceito subsunçor, tem como produto um novo subsunçor modificado e mais embasado, pronto para ancorar mais informações.

3 O ENSINO E A LINGUAGEM DA GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR

Pensando na verdade central da biologia como o processo de replicação do ácido desoxirribonucleico (DNA), sua transcrição para ácido ribonucleico (RNA) e posterior tradução para a formação de proteínas, e em sua importância para o perfeito funcionamento do organismo, é necessário conhecermos melhor o processo do fluxo gênico (NELSON, 2000). O DNA e o RNA também conhecidos como ácidos nucléicos são macromoléculas compostas por cadeias de nucleotídeos. São especializados no condicionamento, transmissão e uso da informação gênica, reúnem informações estocadas em forma de nucleotídeos que interagindo com complexos fatores ambientais são responsáveis por todas as características básicas de um ser vivo (GRIFFITHS *et al.*, 2008). Os nucleotídeos são compostos por três tipos de moléculas, um açúcar de cinco carbonos que recebe o nome de ribose no RNA ou desoxirribose no DNA, um grupo fosfato e uma base nitrogenada constituída de purinas (Adenina e Guanina) ou pirimidinas (citosina, timina e uracila) (NELSON, 2000). Estruturalmente o esqueleto da molécula do RNA e DNA consiste em bases nitrogenadas ligadas a açúcares e esses ao fosfato. Os nucleotídeos se encontram unidos por ligações fosfodiésteres entre o açúcar de um nucleotídeo e o grupo fosfato de outro. As duplas fitas do

DNA mantém sua união por ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas de cada uma das fitas (EÇA *et al.*, 2004).

O DNA tem a capacidade de autoduplicação. No processo de duplicação celular, cada célula filha recebe uma cópia exata do DNA presente na célula de origem e isto garante que a informação genética seja transmitida com sucesso (GRIFFITHS *et al.*, 2008). Durante este processo que recebe o nome de replicação, as fitas do DNA se separam em pontos específicos, formando outras fitas iguais. O DNA recém-formado é composto por uma das cadeias da molécula molde, o que mantém um processo semiconservativo. A síntese de RNA acontece no núcleo e recebe o nome de transcrição (NELSON, 2000). Nesse processo, parte da molécula de DNA é utilizada como molde, sendo transcrita em moléculas de RNA. A molécula de DNA abre-se em determinados pontos, através da ação da enzima RNA polimerase, a seguir é iniciado o pareamento de novos nucleotídeos, que são complementares aos do DNA, dando origem ao RNA. Terminada a transcrição, o DNA volta a apresentar o aspecto inicial de dupla hélice e a molécula de RNA transcrita, acrescida de uma proteção de metilguanosina na extremidade 5' (CAP 5') e uma cauda de poliadenina (Cauda Poli-A) é exportada para o citoplasma da célula, passando ao próximo passo denominado tradução. Neste estágio as bases nitrogenadas que compõem a molécula deste RNA mensageiro (mRNA) organizadas em trincas (códon) cada trinca decodificada corresponde a um aminoácido, embora existam ainda outros três condóns que não codificam nenhum aminoácido (UAG, UAA, e UGA), estes códons são importantes para o processo, pois sinalizam o término da cadeia peptídica. A tradução é fundamentada no pareamento dos códons do mRNA com anticódon presente no RNA transportador (tRNA), este pareamento acontece no citoplasma, mais especificamente nos ribossomos, onde o processo que ocorre sucessivamente dá origem a cadeia polipeptídica, ou seja, uma proteína (GRIFFITHS *et al.*, 2008).

Por meio do processo de transcrição, são sintetizados todos os tipos de RNAs da célula. Eles estão envolvidos de forma ativa na síntese de proteínas, transferência de informação genética e funções estruturais ou catalíticas nas células (EÇA *et al.* 2004). O quadro abaixo demonstra de forma mais clara os principais tipos de RNA.

Quadro 3: Principais tipos de RNA.

TIPO DE RNA	SIGLA	FUNÇÃO

RNA mensageiro	mRNA	Atua como mediador passando a informação do DNA para a proteína
RNA transportador	tRNA	Responsável por encaminhar o aminoácido correto ao mRNA durante o processo de tradução.
RNA ribossômico	rRNA	Principais componentes dos ribossomos, que é o sítio de encontro entre o mRNA e o tRNA durante o processo de tradução.
Pequenos RNA nucleares	snRNA	Participam do processamento de transcritos nas células de eucariotos. Podem formar o complexo ribonucleoproteico de processamento para a realização do splincig[3].
MicroRNA	miRNA	Envolvidos na regulação da quantidade de proteínas produzidas por muitos genes de eucariotos.
Pequenos RNA de interferência	siRNA	Participam do sistema de defesa do genoma de plantas e animais, além de controlar a tradução do mRNA.

Adaptado de Griffiths *et al.*, (2008); Barbosa; Lin (2004).

Refletindo sobre os vários processos que ocorrem no interior das células e reconhecendo a participação das várias moléculas de RNA e as consequências biológicas destas para o produto final, Menck e Ventura (2007) tratam de assuntos importantes sobre a genética como ferramenta terapêutica. Os autores comparam a terapia gênica a técnicas que revolucionaram o campo médico e resultaram no desenvolvimento de vacinas, anestésicos e antibióticos.

Ao falar de manipulação gênica é preciso ter a clareza do significado do termo gene, que de acordo com Nelson e Cox (2002), é o segmento de DNA que codifica uma sequência primária de um produto gênico final, seja este de função catalítica ou estrutural.

Segundo Barbosa e Lin, (2004) a inativação de genes por silenciamento que resulta no bloqueio de seus transcritos, pode ser uma método eficaz para se conhecer as relações

[3] Processo de remoção de segmentos que foram transcritos a partir do DNA, estes segmentos recebem o nome de íntrons (GRIFFITHS et al., 2008).

entre os diferentes componentes das vias regulatórias existentes nas células. Nesta perspectiva levantam o fato de que uma alteração fenotípica advinda da manipulação do genótipo pode indicar a função do gene responsável pela alteração. Tal fato torna viável a realização de análises genética que permitam localizar o gene responsável por determinada doença. Falam ainda sobre um mecanismo mediado por dsRNA que pode ser utilizado no silenciamento de genes de forma pontual o que viabiliza sua utilização na terapia gênica. Este mecanismo é conhecido como RNA de interferência (RNAi).

Ao se analisar o processo transcricional de um gene, é preciso levar em conta os limites do promotor[4] e os diversos fatores que nele atuam. Fatores estes que podem bloquear ou permitir a expressão do gene alvo (LIN; BARBOSA, 2002).

Nos processos de transcrição e tradução, existem algumas moléculas que estão relacionadas com o resultado final da síntese proteica, entre elas os MicroRNA (miRNA). Estes pertecem a uma classe de pequenos RNAs não codificantes e atuam na expressão ou bloqueio de um gene através de sequências complementares específicas. Nesta perspectiva torna-se extremamente importante o conhecimento dos miRNA envolvidos no perfeito funcionamento das vias regulatórias, tendo em vista a possibilidade de se descobrir como sua desregulação pode levar a um processo patológico, ou sua manipulação pode trazer benefícios (HE; HANNON, 2004).

As células podem utilizar miRNA para realizar o silenciameto de genes com ação indesejada no momento. Estas pequenas moléculas são capazes de inativarem o mRNA necessário para a tradução de proteínas específicas. O miRNA é codificado por genes contidos no núcleo da célula, onde a informação do DNA é transcrita pela atuação da enzima RNA polimerase para a produção de mRNA ou outras pequenas moléculas regulatórias, neste último caso, o transcrito é um miRNA primário (Pri-miRNA). Esta pequena molécula forma um RNA de dupla fita (dsRNA) que forma uma estrutura em forma de gancho. No próximo passo o Pri-miRNA é reconhecido por um complexo proteico formado por uma endonuclease chamada Drosha e seu cofator, a proteína DGCR8. Este complexo cliva o Pri-miRNA em um fragmento de aproximadamente 70 nucleotídeos que é o miRNA precursor (Pré-miRNA). O novo construto pode ser transportado para o citoplasma através dos poros nucleares pela ação de uma molécula conhecida como exportina, onde será processado até se associar ao mRNA (FILHO; Kimura, 2006).

[4] Região regulatória de um gene, situada na extremidade 5' (LIN; BARBOSA, 2002).

O miRNA e os pequenos RNA de interferência (siRNA) medeiam uma espécie de manutenção do genoma. A distinção entre os dois ainda não está bem elucidada e ainda não se pode afirmar se são diferentes, visto que tanto os siRNA como os miRNA são dependentes da enzima DICER e ambos se mostram semelhantes no que diz respeito à constituição do complexo de silenciamento induzido (RISC) formado por proteínas argonautas, entre outras. O que se sabe é que os dois participam do fenômeno conhecido como RNA de interferência (CORREIA; CORREIA, 2007; HE; HANNON, 2004).

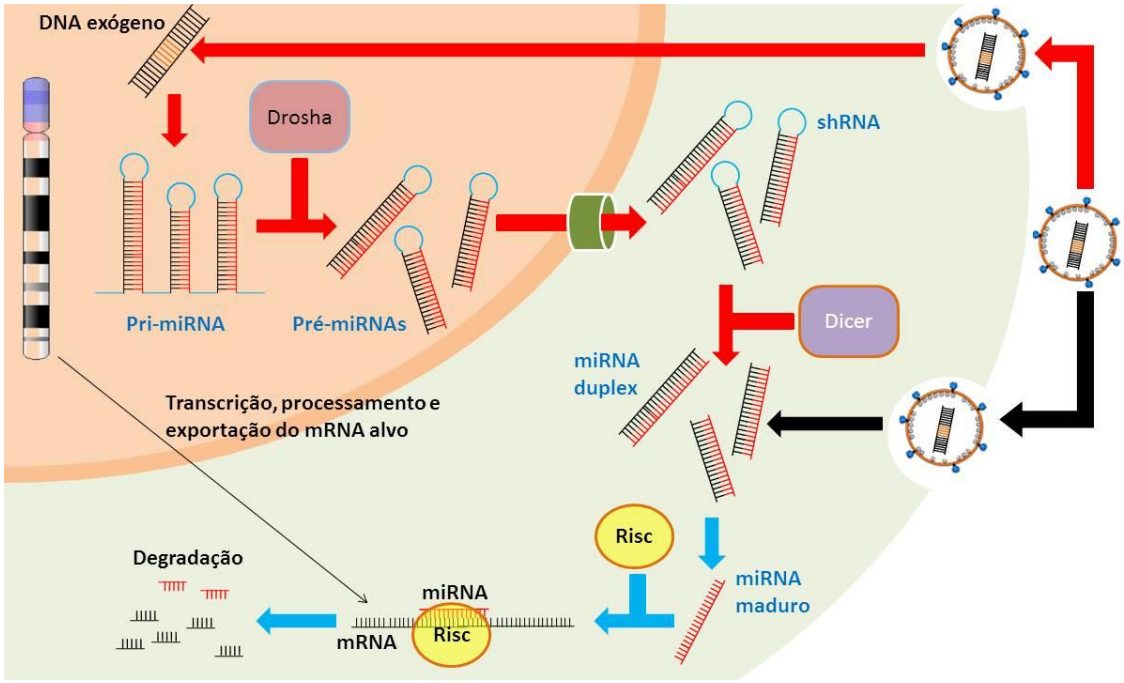
3.1CONSIDERAÇÕES SOBRE O RNA DE INTERFERÊNCIA

O fenômeno de silenciamento por RNAi foi primeiramente descrito em plantas, verificando-se posteriormente a sua presença em nematódeos, insetos e mamíferos (BARBOSA; LIN, 2004).

De acordo com França *et al.*, (2010) o RNAi é um meio de silenciamento gênico que se manteve durante o processo evolutivo. Mediado por dsRNA, o RNAi atua no reconhecimento de uma sequência específica do mRNA, possibilitando sua fragmentação ou bloqueio da molécula mensageira.

O RNAi é um mecanismo que funciona como parte da fiscalização do genoma em eucariotos. Este pode permitir o silenciamento ou a destruição de ácidos nucléicos aberrantes, incluindo moléculas provenientes de infecções parasitárias. Funciona como um mecanismo de regulação gênica a nível pós-transcricional é desencadeado por dsRNA, que varia em comprimento e origem podendo ser endógeno ou exógeno. Estes transcritos são processados pela enzima Dicer RNaseIII em dsRNA mais curtos com aproximadamente 21 a 28 nucleotídeos. Posteriormente, estas moléculas associadas ao RISC induzem a degradação ou a repressão do processo de tradução do mRNA, pois se ligam a este em suas sequências homólogas (PARRISH; FIRE, 2001). A figura 3 apresenta como ocorre processo de RNAi de forma esquemática.

Figura 3: Esquema do mecanismo de RNAi.



Setas vermelhas indicam o mecanismo de RNAi de forma endógena, indicando as principais proteínas/complexos proteicos envolvidos; Setas pretas indicam como esse mecanismo pode ser empregado de forma dirigida, a fim de provocar um silienciamento gênico específico. Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo Nambudiri e Widlund (2013), os dsRNA geralmente envolvidos no mecanismo de RNAi estão incluídos em categorias distintas conforme sua origem e função. Podendo ser classificados em miRNA, siRNA e pequenos RNA em forma de grampo[5] (shRNA). Estes autores reforçam ainda o bloqueio da síntese de genes específicos causados devido à complementariedade existente entre o siRNA e o mRNA.

Geralmente os siRNA são provenientes de produtos de infecção viral ou pela ação de transposons[6] e dependendo do nível de complementariedade com o mRNA podem induzir a repressão da transcrição ou digradação do mRNA (VÁZQUEZ-ORTIZ, *et al.*, 2006).

O mecanismo de RNAi pode possibilitar o avanço das pesquisas biotecnológicas nos estudos da genômica e ainda ser utilizado como instrumento de terapia gênica (BARBOSA; LIN, 2004). Nesta perspectiva é possível vislumbrar um novo instrumento para os mais

[5]Tradução da língua inglesa (short hairpin RNA).
[6]Sequências curtas de DNA que podem se mover de uma localização do genoma para outra e alterar o genótipo do receptor (VAZ, 2009).

distintos campos da biotecnologia que possam atuar na cura de doenças, aumento na produção de compostos de interesses agrícola, clínico e econômico.

Guertler *et al.*, (2013) corroboram a afirmativa acima quando realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar a proteção antiviral específica via RNAi contra o vírus da síndrome da mancha‑ branca (WSSV), em camarões marinhos (*Litopenaeus vannamei*). Neste trabalho é levantado o fato de que os crustáceos não podem ser vacinados, como os vertebrados em geral, pois, não apresentam um sistema imune adaptativo que os proteja de maneira antígeno‑ específica, o que torna imprescindível a busca de métodos alternativos e efetivos que limitem ou impeçam a progressão das infecções virais nos camarões e evitem as enormes perdas econômicas na carcinicultura. Os autores sintetizaram uma dupla fita de RNA com a sequência gênica correspondente à proteína vp28 do vírus WSSV e injetaram estes dsRNA nos camarões. Após analisarem o hemograma dos camarões e verificarem a carga viral por meio de PCR, perceberam que o tratamento com dsRNA vp28 limita a infecção por WSSV, aumenta a taxa de sobrevivência e mantém as boas condições imunológicas dos camarões por meio do restabelecimento do número de hemócitos circulantes. O tratamento com dsRNA vp28 nos camarões controla a infecção viral em sua fase inicial, limita e promove a ausência do vírus na maioria dos sobreviventes. Analisando este estudo é possível pensarmos nas diversas possibilidades mediadas pelo RNAi para melhorias em alguns cultivares de interesse humano, além de fomentar as pesquisas com terapia gênica.

Ainda pensando no ganho econômico e no aumento da produção de compostos de interesse agrícola mediado por terapia gênica, Jiang *et al.*, (2014) falam sobre a utilização de RNAi como um mecanismo para aumentar a produção de isoflavona em Soja (*Glycine max*). Os autores descrevem a isoflavona como um metabólito secundário presente nesta espécie de soja, e atribuem a este metabólito a importância agrícola de estar envolvido no processo da produção de diversos pigmentos presentes nas plantas, que além de atuarem na prevenção dos efeitos danosos da luz ultravioleta no vegetal, também auxiliam na polinização ao atraírem animais frugívoros. Destacam ainda o fato de que os isoflavonóides são importantes para a prevenção de cânceres hormônios-dependentes e ainda atuam de forma eficiente na saúde humana. A fim de alcançarem o aumento da isoflavona em soja os autores construíram dois vetores para silenciar o gene flavanona 3-hidroxilase (F3H) e o gene flavona-sintase II (GmFNSII) contidos na soja. Adicionalmente construíram um vetor bivalente com a finalidade de silenciar ambos os genes. Um vetor de RNAi específico foi construído para silenciar F3H outro específico para silenciar GmFNSII e um vetor bivalente foi construído

para silenciar tanto F3H quanto GmFNSII. Para realização do estudo utilizaram cotilédones de soja que foram transformados utilizando *Agrobacterium rhizogenes*[7] para dar origem a plantas transformadas. O estudo conseguiu com sucesso obter plantas com raízes modificadas, que continham mais isoflavonas do que as plantas controle. Verificou-se também que o RNAi bivalente foi significantemente mais eficiente para aumentar a produção de isoflavonas nas raízes do que os outros dois vetores unitários, as plantas transformadas com o RNAi bivalente apresentaram duas vezes mais a quantidade de flavonoides do que as plantas do grupo controle.

Tal fato confirma a importância do conhecimento de métodos moleculares em especial sobre o RNAi. Este pode especificamente no caso da soja, ser utilizado para aumentar a produção de isoflavona além de apontar os desafios associados com tais engenharias metabólicas na produção de metabólitos secundários nos vegetais.

Em uma perspectiva da aplicabilidade do RNAi na saúde humana, podemos pensar na utilização da técnica de RNAi auxiliando o desenvolvimento de medicamentos capazes de bloquear um gene indesejável. Esse gene pode estar relacionado na fisiopatologia de doenças reumáticas, degeneração macular, hepatites, AIDS e outras possíveis doenças alvos da técnica de RNAi (MENCK, 2010).

Para facilitar a observação da variedade dos segmentos em que o RNAi pode ser utilizado, apresentamos no quadro 3 algumas doenças e condições nas quais o RNAi tem sido utilizado como tratamento. Posteriormente no quadro 4 apresentamos algumas das principais técnicas utilizadas na aplicação da técnica de RNAi in vivo.

[7] Bactéria fitopatogênica capaz de induzir em plantas uma doença conhecida como raiz em cabeleira (BARROS *et al.*, 2005).

Quadro 4: O uso da técnica de RNAi em diversos organismos.

Segmento	Categoria	Doença/ Condição	Organismo	Alvo
Agricultura	Melhoramento genético	Tolerância aos estresses abióticos	Arroz	Gene RACK1
			Arabidopsis thaliana	Gene PLDys
		Tolerância aos estresses bióticos	Algodão	Gene CYP6AE14
		Deleção de alergênicos	Soja	Proteína P34
			Amendoim	Gene Ara h 2
		Alteração na produção de metabólitos secundários	Tabaco	Gene FLS
Agropecuária	Doença inflamatória	Artrite viral equina	Equinos	Proteína estrutural do vírus EAV
	Doença infectocontagiosa	Febre aftosa	Animais de casco fendido	Proteína VP1
	Doença viral	Síndrome da mancha branca	Camarões	Gene codificador da proteína VP28
	Doença oftalmológica	DMRI		VEGF
		Edema macular		VEGF

Medicina		Atrofia crônica do nervo óptico	Humanos	proNGF
	Doença viral	HIV		Proteínas estruturais do HIV e o gene humano CCR5
		HCV		miRNA122
		RSV		Nucleocapsídeo do RSV

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 5: Compilado de algumas das principais técnicas utilizadas na administração de dsRNA in vivo.

Data	Quem	Organismo testado	Órgãos alvos	Método
2012	YANG et al.	Organismos pequenos (planaria, parasitas)	Efeito sistêmico	Imersão
1998; 2006; 2009	TIMMONS e FIRE; XIANG *et al.*; AOUADI *et al.*	*C. elegans*, camundongos, entre outros	Epitélio do sistema digestório de camundongos. Efeito sistêmico em *C.elegans*	Alimentação oral
2012	SALVA *et al*.	*C. elegans*, camundongos, ratos e outros	Efeito geralmente sistêmico	Injeção local
2002	MCCAFFREY *et al*.	Camundongos e ratos	Fígado, rins, coração e pulmão	Transfecção hidrodinâmica
2003	PEKRIK *et al.*	Diversos inclusive in ovo	Efeito local e sistêmico	Eletroporação
2008	YUEN *et al.*	Diversos	Efeito local	Biobalística
2008	KLEINMAN *et al.*	Humanos	Olhos	Injeção intraocular
2006	PALLISER *et al.*	Camundongos	Vagina	Gel
2005; 2012	BITKO *et al.* e PEREZ	Camundongos	Pulmão e cérebro	Spray
2012	LEE *et al*.	Camundongo	Efeito local	Nanopartículas
2007	DICKINS *et al.*	Diversos	Dependente de promotor	Transgene
2003	TENLLADO *et al.*	Plantas	Efeito local	Inoculação mecânica

2012	BERTAZZON *et al.*	Plantas	Efeito local	Agroinfiltração
2013	ZORDE *et al.*	Ratos e Cultura de células humanas	Efeito local e sistêmico	Implante cilíndrico biopolimérico contendo siRNA

Adaptado de Pereira (2013).

3.2 O RNAI E O ENSINO

Para possibilitarmos uma visão geral sobre como vem ocorrendo o ensino sobre o RNAi, passamos a apresentar alguns trabalhos e levantamos uma sucinta discussão sobre o assunto.

Em um trabalho realizado como práticas experimentais, realizado na Universidade de Buenos Aires-Argentina, Bazzini *et al.,* (2007) falam sobre a importância de que o mecanismo de RNAi faça parte o programa de ensino de biologia molecular, genética e biotecnologia. No trabalho em questão os autores fornecem ensaios que possibilitam aos alunos entenderem o Silenciamento de genes por RNAi utilizando plantas como modelo. Para isso realizam três abordagens sendo que na primeira abordagem o silenciamento gênico é demostrado pela expressão provisória de um gene repórter em plantas transgênicas. Na segunda abordagem o Silenciamento por RNAi é disparado tendo como alvo um gene repórter estável de uma planta transgênica e a terceira abordagem é desencadeada pela produção de RNAi endógenos provocada pela utilização de vetores virais. Os autores recomendam os experimentos para alunos de graduação e pós-graduação e ressaltam o objetivo de ajudar na compreensão dos mecanismos envolvidos na técnica de RNAi. Aparentemente, o trabalho de Bazzini *et al.* (2007) deixa claro que a utilização do RNAi no contexto do ensino e aprendizagem de saberes científicos pode ser considerada como uma ótima ferramenta para o ensino de biologia molecular, genética e biotecnologia. A estratégia possibilita ao alunado o aprendizado de diversos conhecimentos envolvidos no processo de RNAi permeando pelas diferentes áreas.

Nos Estados Unidos, em uma classe de ensino médio, Sengupta (2013) fala sobre o RNAi como uma excelente opção ao ensino dos mecanismos que envolvem as vias regulatórias intracelulares. O autor apresenta um módulo de estudo que pode permitir aos alunos a compreensão do mecanismo de RNAi por meio de experimentos. Para isso, Sengupta

utiliza o nematódeo *C. elegans* como modelo de estudo discutindo as vantagens da utilização deste modelo, sua morfologia e fisiologia. Utiliza recursos didáticos como websites para direcionar algumas atividades e realiza com a classe um procedimento em que os alunos tentaram suprimir o fenótipo egl-1 de *C. elegans*, desligando o gene pos-1 por meio da técnica RNAi. Neste trabalho o autor pontua que o módulo de ensino oferta aos alunos a oportunidade de apreciar como é efetuado o trabalho do cientista, permite que o professor possa explicar vários conteúdos necessários a formação do discente, além de obter maior atenção e interesse dos alunos.

Direcionando o olhar para as pesquisa em ensino no Brasil, como parte deste trabalho, foram analisadas as produções científicas envolvendo conteúdos de genética em dois eventos acadêmicos[8]. Com isso foi possível perceber que as produções atuais divulgadas nesses eventos ainda não contemplam a técnica de RNAi. Além disso, durante as leituras sistemáticas de diversas literaturas para a realização dessa pesquisa, não foram encontrados em língua portuguesa qualquer livro ou apostila direcionados a suportar professores no processo de ensino sobre RNAi, salvo a obra de Tiago Campos Pereira intitulada "A introdução à técnica de interferência por RNA – RNAi". Ressaltamos porém que a obra deste autor citada no corpus deste trabalho como (PERERIRA, 2013), possui como ponto forte um enfoque na parte mais técnica, não sendo direcionada ao seguimento ensino e aprendizagem. Tal fato corrobora a necessidade da produção de um material didático que contemple o RNAi no campo ensino.

Em um trabalho que envolveu a análise de livros didáticos, Goldbach e Bedor (2013) averiguaram se os livros didáticos de biologia estariam incorporando as questões provindas do campo de pesquisa com ênfase na genética. Para isso, as autoras realizaram uma análise exploratória de um conjunto de livros didáticos indicados para uso no ensino médio, os livros eram recomendados pelo PNLEM/2007 e PNLD/2012-Biologia. Neste trabalho foram comtemplados três aspectos que discutiam questões sobre: fragmentação, contextualização e atualização do conhecimento. Na leitura deste trabalho não foram encontradas questões relacionadas ao ensino do RNAi. Quando esse foi citado no trabalho, os autores estavam apenas citando novas descobertas que poderiam ampliar o conceito de Gene. Por meio dos resultados expostos pode-se depreender que na análise em questão o RNAi não foi incorporado por nenhum dos livros didáticos analisados.

[8] Ver quadro 1: Compilado dos artigos encontrados por encontro

Estevam *et al.* (2017) também levantam a preocupação com o ensino de genética no que diz respeito à socialização das técnicas biotecnológicas. Segundo os autores o estabelecimento de um diálogo entre produções acadêmicas e o desenvolvimento de novas tecnologias pode possibilitar um progresso no ensino de genética. Nesta perspectiva, entendendo o RNAi como uma via biológica e como uma técnica biotecnológica inovadora e ainda pouco difundida no ensino, é possível vislumbrar que a técnica de RNAi, seja incorporada pelo ensino por meio da socialização do conhecimento resultante desse diálogo.

Acreditamos que o estudo do RNAi e suas aplicações podem contribuir para o processo de ensino e aprendizagem de genética e biologia molecular. Diante do exposto e evidenciada a importância do ensino da técnica de RNAi, seja no nível de ensino superior ou na educação básica percebemos a necessidade da criação de uma ferramenta que possibilite a discussão do tema em nossas salas de aula. Por isso desenvolvemos uma proposta de abordagem didática que possui o RNAi como tema gerador.

4 PROPOSTA DE ABORDAGEM DE CONTEÚDOS DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR

Diante do exposto e mediante as discussões apresentadas nos capítulos anteriores, procuramos desenvolver um material de apoio pedagógico que permitisse a socialização de alguns conhecimentos sobre o ensino de genética, biologia molecular e biotecnologia.

O material em desenvolvimento se trata de um paradidático, que pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio pedagógico para o ensino de conteúdos de genética, biologia molecular e biotecnologia. Esta ferramenta tem o RNAi como tema gerador e é direcionado a professores em formação ou mesmo professores já atuantes no ensino básico. A escolha deste público se deve à necessidade destes profissionais terem em mãos uma literatura diferenciada que os possibilitem elucidar a ligação da genética, biologia molecular e afins com o contexto de seus alunos. Associado a isto, estudos científicos como os realizados por Silva (2011), Marín (2013) e Oliveira (2015), revelam que os conteúdos da genética e biologia molecular são classificados como abstratos e de difícil assimilação. Estes conteúdos complexos necessitam da utilização de metodologias alternativas, que comtemplem as necessidades dos professores e alunos durante o processo de ensino e aprendizagem (MOREIRA, 2007). Daí a escolha pelo desenvolvimento desta ferramenta.

Pensando nesse grau de abstração, acima referenciado e no constante desenvolvimento destas ciências, é imprescindível que o professor possa lançar mão de algumas ferramentas de apoio pedagógico que o permitam acompanhar as novas informações. Porém, os livros didáticos de biologia que poderiam possibilitar este apoio, geralmente são defasados e muito distantes da atualização que a genética necessita e mesmo assim continuam sendo amplamente utilizados na educação básica como a parte mais importante para o ensino (XAVIER *et al*., 2006).

A utilização do RNAi como tema gerador se justifica pela importância da socialização deste conhecimento no meio acadêmico como material de ensino e devido as possibilidades de articulações com os diversos conteúdos fundamentais que são abordados em biologia celular e molecular.

Não obstante a isso, o avanço obtido em tão pouco tempo de pesquisa é impressionante e muitas das vezes se torna difícil de ser acompanhado pelos livros didáticos utilizados no ensino (NETO, 2015).

Entendemos que os alunos podem apresentar certas dificuldades em assimilar alguns conteúdos de genética e biotecnologia devido ao elevado teor científico exigido pela área. Estas dificuldades podem ser superadas por meio da utilização da transposição didática, esta permite que o conhecimento a ser ensinado passe por um conjunto de transformações no sentido de lhe conferir uma nova forma, possibilitando que o conhecimento científico seja apresentado aos alunos em uma linguagem menos técnica. A transposição didática deve ser utilizada sob uma vigilância epistemológica a fim de não causar um distanciamento entre o conhecimento ensinado em sala de aula e o conhecimento produzido pelos cientistas (MENEZES, 2008).

Diante do exposto foi desenvolvido um paradidático utilizando o RNA de interferência como tema gerador, a fim de, contribuir para a melhor apropriação de conhecimentos científicos relacionados à genética, biotecnologia e afins.

4.1 CAMINHOS METODOLÓGICOS

A abordagem metodológica utilizada neste trabalho possui caráter descritivo e exploratório com enfoque qualitativo. Neste tipo de pesquisa, o pesquisador se aproxima do fenômeno que está sobre investigação buscando informações diretas. Quanto aos seus objetivos, a pesquisa exploratória desenvolve um esclarecimento de ideias e visão ampliada

de determinado fenômeno já em seu caráter descritivo, busca caracterizar o objeto de estudo (GONSALVES, 2001).

Foi realizado um estudo bibliográfico com a finalidade de discutir as vias intracelulares envolvidas no processo de RNAi, entre outros assuntos relevantes sobre os conteúdos de genética e biotecnologia que contribuíram para a criação de um paradidático sobre o tema. Neste estudo buscamos também apontar alguns trabalhos que retratam a importância das pesquisas e a divulgação destas para o ensino de ciências.

Menezes *et* al., (2008) relatam que o ensino de ciências está envolvido em um processo de transformação do conhecimento, no qual o saber científico precisa passar por algumas transformações para que possa ser ensinado no ambiente escolar sem maiores dificuldades. O processo de transformação sofrido pelo conhecimento cientifico até sua chegada à sala de aula é conhecido como transposição didática.

Diante disso realizamos a transposição didática do conhecimento científico abordado por meio do desenvolvimento de nosso material no qual caricaturamos um personagem para atuar como interlocutor de algumas informações.

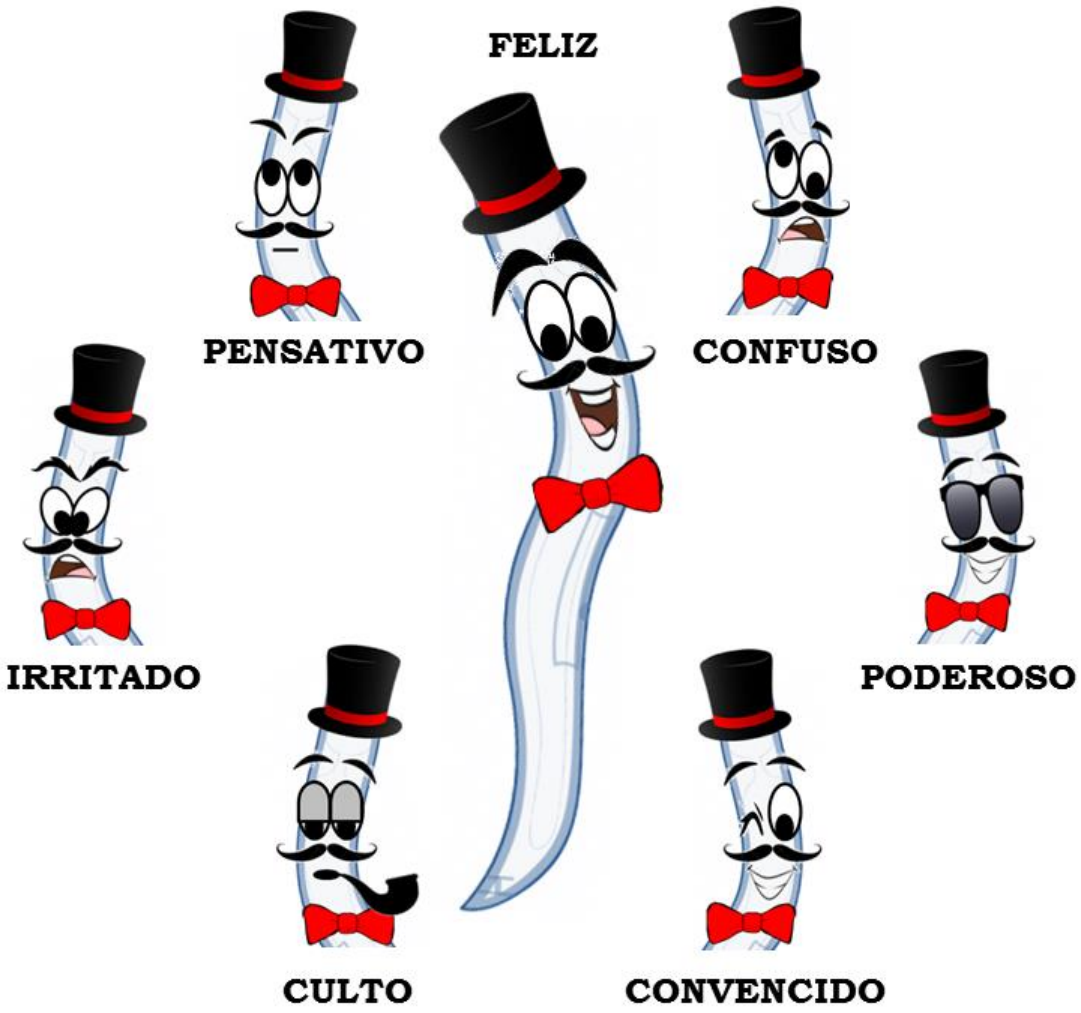
4.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E BREVE ANÁLISE DA PROPOSTA

Decidimos ir ao encontro das necessidades do ensino e nos propusemos a realizar uma transposição didática do conhecimento científico. Nos perguntamos se seria possível desenvolver uma ferramenta de apoio pedagógico diferenciada, que fosse capaz de auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de alguns conceitos de genética e na introdução de algumas novidades que permeiam a biologia molecular. Para isso inicialmente desenvolvemos um personagem que pudesse, de maneira menos engessada, realizar interlocuções e fornecer algumas mensagens de incentivo à leitura.

Nosso personagem teve origem em um nematódeo de aproximadamente um milímetro de comprimento, não segmentado e com simetria bilateral. Seu nome científico é *Caenorhabditis elegans.* É um organismo de fácil criação, de vida livre, ciclo de vida curto, genoma conhecido e um organismo modelo extremamente usado em pesquisas. Inúmeros trabalhos relativos ao campo da biologia molecular utilizaram o *C. elegans* como organismo modelo. É importante citarmos um trabalho que foi laureado com o prêmio Nobel de medicina e fisiologia, onde Fire e Mello utilizando *C. elegans* demonstraram uma potente interferência ocasionada pela injeção de dsRNA (FIRE *et al.*,1998).

Estes e outros achados nos levaram a caricaturar o *C. elegans* em C. elegante e o apresentarmos como interlocutor de algumas informações. Na figura 4 apresentamos o esboço do nosso personagem com expressões variadas, o C. elegante.

Figura 4: Personagem C. elegante com expressões variadas. Cada uma destas expressões será utilizada num contexto temático.



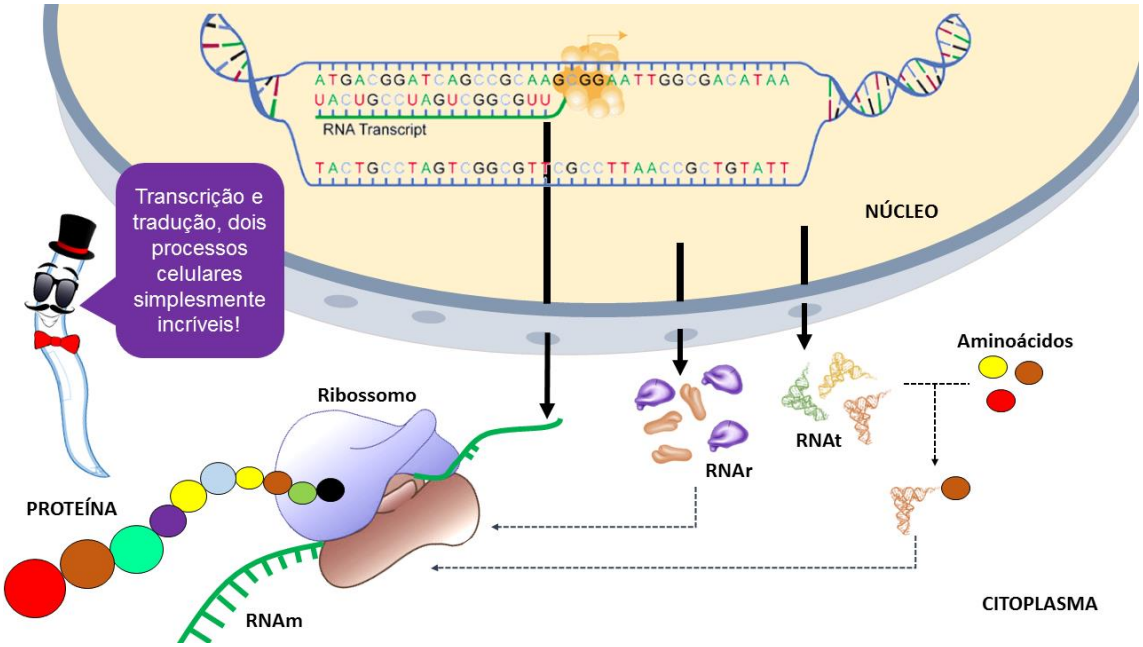
Fonte: Os autores.

O desenvolvimento inicial desta ferramenta se deu após uma imersão na literatura a respeito do RNAi. Percebemos que o tema era pouco explorado no quesito ensino e entendemos que poderíamos contribuir com a discussão do RNAi nas salas de aula ao elaboramos uma estratégia didática diferenciada.

Nossa ferramenta de apoio metodológico é então, um paradidático desenvolvido por professores e para professores. Na parte inicial desse, passamos uma mensagem direta aos

professores fornecendo importantes dicas de como utilizar o nosso produto. Em seguida revisamos alguns mecanismos biológicos fundamentais, corroboramos com os estudos de Silva (2011), Marín (2013) e Oliveira (2015) e outros que revelam que os conteúdos de genética e biologia molecular são classificados como abstratos e de difícil assimilação. Desta forma, e em uma perspectiva ausubeliana para revisarmos esses mecanismos biológicos fundamentais decidimos abordar o processo de síntese proteica como um conceito mais inclusivo para chegarmos a conceitos mais específicos e menos inclusivos. Em outras palavras utilizamos a síntese proteica como um conceito subsunçor, capaz de incluir conceitos mais específicos que podem suportar o aprendiz na aquisição de novos conhecimentos. Assim, obedecemos a organização estrutural do conhecimento no cérebro humano em que segundo Buchweitz (2001) existe uma relação hierárquica entre conceitos que vão sendo ancorados na estrutura cognitiva do sujeito. Como exemplo disso, apresentamos a figura 5 que faz parte de nosso paradidático.

Figura 5: Ilustração do processo de síntese proteica.



Fonte: Adaptado de Griffiths et al., (2008).

Tavares (2004) fala sobre três requisitos para que exista uma aprendizagem significativa[9]: Nosso paradidático pode contemplar estes três requisitos, pois, pode proporcionar uma sondagem sobre o conhecimento prévio do aluno (quando revisamos mecanismos biológicos fundamentais); disponibiliza um novo conhecimento de maneira

[9] Ver capitulo 2.1

lógica (o RNAi) e pode possibilitar a interação entre o conhecimento prévio do aluno sobre síntese proteica e o envolvimento do RNAi neste processo de aprendizado.

Com o objetivo de fornecer ao professor alternativas de metodologias diferenciadas, em nosso paradidatico indicamos algumas estratégias didáticas para o ensino de síntese proteica como jogos, softwares e sites com o código genético interativo. O professor poderá ou não lançar mão de mais estas alternativas para enriquecer ainda mais as suas aulas.

Ainda pensando em estratégias didáticas diferenciadas, que segundo Moreira (2007), são necessárias durante o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos abstratos, em nossa material transformamos o saber sábio em saber a ensinar e possibilitamos que esse possa ser transformado em saber ensinado. Para tal, foram observadas as cinco regras da transposição didática adaptadas de Filho (2000) [10].

Obedecendo a primeira e segunda regra, nosso paradidático permite a modernização do saber escolar e atualização do saber a ensinar, pois, possibilita que uma nova informação (o processo de RNAi) seja agregada ao cotidiano dos alunos. Tal fato pode viabilizar que a dinamicidade da produção científica seja acompanhada também no contexto escolar, servindo como uma opção para o preenchimento de lacunas encontradas no ensino de genética e biologia molecular como apontado Goldbach e Macedo, (2007) que evidenciam um baixo número de trabalhos na área da genética. Além disso, nas análises realizadas nos trabalhos apresentados no VIII e IX ENPC e no III EREBIO regional 4, não foram encontrados publicações que fizessem menção da técnica RNAi, o que evidencia ainda mais a relevância de nosso paradidático como uma ferramenta de ensino que pode promover a atualização do saber a ensinar. Podemos exemplificar a possibilidade de atualização do conhecimento quando, por exemplo, apresentamos em nosso paradidático os principais tipos da RNA. Isto por que muitas das vezes, as moléculas de RNA que os alunos conhecem se resumem a mRNA, tRNA e rRNA (MOTA *et al.* 2015).

Observando a terceira regra, procuramos articular o saber “velho” com o “novo” saber. Fizemos isso em uma perspectiva ausubeliana, adotando a diferenciação progressiva. Ou seja, permitimos a articulação de novas informações com elementos que já haviam sido apresentados de maneira geral, e progressivamente foram sendo introduzidos detalhes mais específicos. A exemplo disso, temos a adição de novos nomes de enzimas, estruturas e complexos (Drosha, Dicer, Risc) presentes no mecanismo de RNAi que introduzimos como interferência no processo de síntese proteica.

[10] Ver quadro 2: Regras para a realização da transposição didática.

A quarta regra da transposição didática fala da possibilidade de se transformar um saber em exercícios e problemas. Fizemos isso em nosso paradidático ao problematizarmos as aplicações do RNAi em diversos segmentos o que viabiliza que o professor possa utilizar nossos textos bases e informações para a construção de discussões reflexivas sobre a importância da técnica de RNAi, além da construção de mapas representativos sobre o seu mecanismo de ação.

Tornar o conceito mais compreensível é a quinta regra. Essa regra é em essência um dos objetivos de nosso material e durante todo momento é o que tentamos fazer. Seja de forma textual descrevendo e detalhando os diversos processos, de forma gráfica com ilustrações detalhadas, ou das duas formas como fizemos com o conceito de nucleotídeo representado na figura 6.

Figura 6: Representação gráfica e textual do conceito de nucleotídeo.

Revisando mecanismos biológicos fundamentais

O DNA (Acido Desoxirribonucleico) e o RNA (Acido Ribonucleico) são também conhecidos como ácidos nucléicos e caracterizam-se como macromoléculas compostas basicamente por cadeias de nucleotídeos (figura 6). Estruturalmente o esqueleto da molécula destas moléculas consiste basicamente em bases nitrogenadas ligadas a açúcares, e esses a grupos fosfatos.
Especializados no armazenamento e transmissão da informação gênica, reúnem informações responsáveis por todas as características básicas de um ser vivo. Daí sua importância.

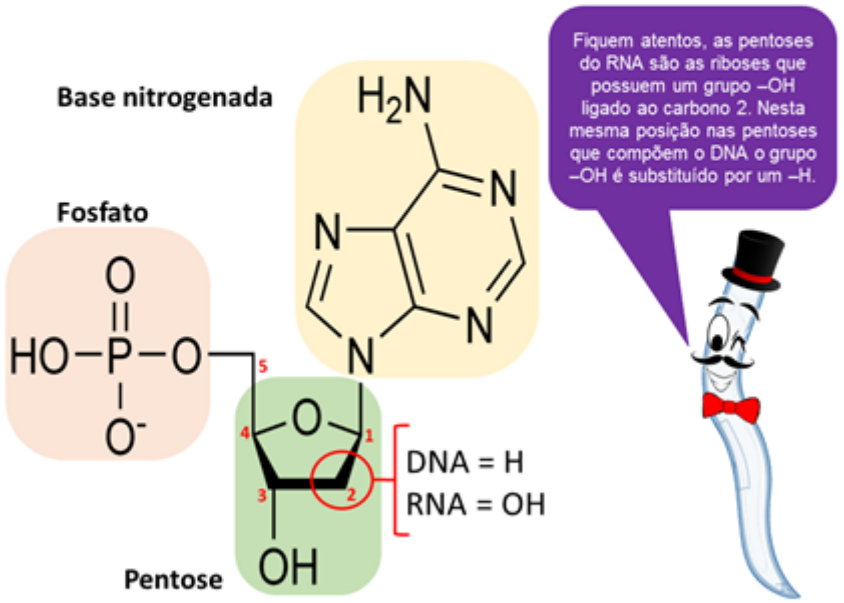


Figura 6: Representação estrutural de um nucleotídeo. Note que fora a clássica variação na composição das bases nitrogenadas, onde moléculas de DNA apresentam timina em sua composição, enquanto RNAs apresentam uracila, a pentose do DNA possui um hidrogênio (H) enquanto a pentose do RNA possui um grupo hidroxila (OH) ligados ao carbono 2.

Fonte: Adaptado de (EÇA et al., 2004).

Após revisarmos alguns mecanismos biológicos fundamentais e consolidarmos diversos conceitos que no decorrer do paradidático utilizamos como subsunçores, iniciamos o tema do RNAi propriamente dito. Ao fazermos isso, explicamos o que é o RNAi, como foi descoberto, qual o mecanismo de ação, fornecemos datas importantes e outras informações relevantes a respeito do RNAi.

Pensando na despersonificação, descontemporialização e descontextualizarão do conhecimento citado por Chevallard (1991), durante a transposição didática do conhecimento presente em nosso paradidático nos importamos com a vigilância epistemológica do conhecimento. Em outras palavras para não incorremos em distorções prejudiciais durante a transposição do saber sábio para o saber a ensinar, além de fornecer elementos que possibilitassem uma descrição fiel dos fenômenos investigados, tivemos o cuidado de indicar nas páginas de nosso material a fonte do conhecimento no qual nos baseamos durante a construção de nossos textos. Tal estratégia pode possibilitar que o leitor acesse o texto base e perceba o tempo o contexto e a personalidade que cada integrante da noosfera pode transmitir durante o processo de produção do conhecimento científico e sua disponibilização à sociedade.

Um dos momentos em que o exemplo desse cuidado pode ser observado em nosso paradidático trata-se de quando apresentamos um tópico que chamamos de RNAi na prática, neste seguimento do material desenvolvemos três metatextos com casos práticos no emprego da técnica de RNAi na agricultura, na carcinicultura e na medicina. Silva e Chagas (2015) falam que um metatexto deve ser suportado em trabalhos de descrição densa, compostos por varias citações e escolhidos com perspicácia, ou seja, um metatexto deve ter como base um bom artigo científico, e foi isso que fizemos. Suportados por artigos científicos abordamos questões relacionadas a plantas modificadas, tratamento de doenças de crustáceos, doenças oculares em humanos e ao final de cada tópico indicamos as leituras que nos serviram de base para a produção do texto. Desta forma, pretendemos evitar o distanciamento entre o conhecimento que estamos ensinando e o fazer do cientista.

Com objetivo de dinamizarmos a leitura completamos nosso trabalho com o tópico expondo expressões e terminologias, com a finalidade de sanar algumas possíveis dúvidas do leitor elaboramos um glossário e apresentamos um quadro com as siglas utilizadas no corpo do paradidático, apresentamos ainda um compilado que apresenta algumas das principais técnicas utilizadas na administração de dsRNA *in vivo*.

5 CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS

Diante das diversas lacunas existentes no que diz respeito aos recursos didáticos relacionados ao ensino de ciências e diante da dificuldade encontrada nos livros didáticos para acompanharem o constante fluxo de novas informações, este trabalho surge como uma alternativa que possibilita a introdução de novas informações e a consolidações de outras.

Nesta obra tratamos de um fantástico mecanismo celular: o RNAi e contextualizamos algumas possibilidades de sua aplicação. Nosso material possibilita a realização da transposição didática do conhecimento científico sem proporcionar um distanciamento do trabalho dos cientistas e o conhecimento ensinado em sala de aula.

Nosso paradidático vai além da simplificação do conteúdo ou uso de analogias presentes nas aulas expositivas, apresentamos propostas de problemas a serem resolvidas de forma contextualizada e de maneira diferenciada, promovemos uma melhor visualização de temas classificados com abstratos.

Ultimamente o pensar em biologia molecular vem atrelado a utilização da PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), devido a versatilidade e utilização rotineira da técnica nos diversos laboratórios de genética espalhados pelo mundo. Acreditamos que a técnica de RNAi caminha neste mesmo sentido. Os diversos estudos apontam para a grande difusão e ampla utilização da técnica daí a importância em socializar este conhecimento.

Neste sentido, nosso trabalho vem como uma alternativa de inovação no ensino e é o primeiro paradidático no seguimento temático. Por meio desta buscamos realizar uma aproximação entre o ensino e as novidades científicas de forma mais simples, singular e didática.

Em meio às dificuldades encontradas e frente às poucas ferramentas utilizadas no ensino de ciências, acreditamos que nosso trabalho pode contribuir consideravelmente no processo de ensino e aprendizagem além de incentivar a elaboração de mais ferramentas que colaborem com o ensino de ciências. Por conseguinte, acreditamos que nosso trabalho pode servir de referência ao ensino e como fomento para a discussão da temática do RNAi.

Esperamos que a divulgação e aplicação de nosso trabalho possam servir como um instrumento que permita a incorporação de novas metodologias e conteúdos de forma

significativa e de maneira mais acessível facilitando o processo de ensino de conteúdos classificados como abstratos e de difícil assimilação.

Pensamos que os conhecimentos envolvidos nas áreas de biologia molecular, genética e biotecnologia devem contemplar aspectos provenientes da origem do conhecimento até sua socialização em salas de aula, acompanhando as questões atuais. Por meio desse trabalho, realizamos a transposição didática de um conhecimento cientifico pouco abordado em salas de aula, mas que a nosso ver é primordial na elucidação de alguns conteúdos básicos, rotineiramente abordados na biologia geral.

De uma maneira geral procuramos trabalhar o RNAi como meio de possibilitar o alcance de outros conhecimentos correlatos. Com isso introduzimos um tema pouco abordado no questio ensino e contribuímos para a atualização de alguns conteúdos. E, mais especificamente buscamos descrever, de acordo com nossa interpretação o processo que envolve a socialização do conhecimento científico envolvido.

O desenvolvimento desse trabalho possibilitou uma reflexão sobre as dificuldades encontradas no processo de ensino. Nos permitiu também pensar em como poderíamos sanar ou quando não possível sana-las, ao menos amenizar as dificuldades existentes neste processo. A produção desse material sem dúvida proporcionou imenso aprendizado e prazer. Além disso, o envolvimento com o conteúdo desse trabalho pode criar oportunidades para a realização de leituras que normalmente não se realiza, além de possibilitar a visualização de quão difícil pode ser a construção do conhecimento. Mesmo embasados por diversos autores a dificuldade em buscar palavras para expressar o que se pretende dizer é clara. Após a realização de um curso de pós-graduação como o Mestrado Profissional em Ensino de Ciências, e realização de um trabalho que exija leituras diversificadas, o professor estará preparado para auxiliar seus alunos durante o processo de construção do conhecimento científico. Não apenas em sua área de concentração (Biologia, Química ou Física), mas, no processo de construção do conhecimento abordado pelo ensino de ciências.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais.** Secretaria de Educação Fundamental – Brasília: MEC/SEF, 1998.

_____. MEC/SEB. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**, Brasília: Ministério da Educação, 1999.

_____. MEC/SEB.**Orientações Curriculares para o Ensino Médio**, Brasília, p.135, v. 2, 2006.

_____. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Resolução CEB nº3 de 26 de junho de 1998.

_____. Senado Federal. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: nº 9.394, 1996. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 28 out. 2016.

BARBOSA, A. S; LIN, C. J. Silenciamento de Genes com RNA Interferência: Um Novo Instrumento Para Investigação da Fisiopatologia do Córtex Adrenal. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia,** v. 48 nº 5, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abem/v48n5/a05v48n5.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

BARROS, L. M. G. et al. Importância da região amino-terminal da proteína RolA de Agrobacterium rhizogenes em sua atividade biológica. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado Técnico**, 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/187221/1/cot142.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2016.

BUCHWEITZ, B. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: IDÉIAS DE ESTUDANTES CONCLUINTES DE CURSO SUPERIOR. **Investigações em ensino de Ciências**, 6(2), 133-141, 2001. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/ienci/_aprendizagemsignificativ.artigocompleto.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016.

BAZZINI, A. A. *et al.* A practical approach to the understanding and teaching of RNA silencing in plants. **Electronic Journal Biotechnology**, v. 10, n. 2, p.178-190, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582007000200002>. Acesso em: 10 dez. 2016.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática.** São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.154 p.

CARVALHO, E; *et al.* Tendências de pesquisa sobre atividades práticas de genética. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC**, Atas do IX ENPEC, Águas de Lindóia, SP, 2013.

CORREIA, J. H. R. D; CORREIA, A.A.D. Funcionalidades dos RNA não codificantes (ncRNA) e pequenos RNA reguladores, nos mamíferos. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 8, n. 10, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612713006>. Acesso em: 04 jun. 2015.

CHEVALLARD, Y. (1991) **La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Ensigné**. Grenoble, La pensée Sauvage.

DALCIN, Andréia. Um olhar sobre o paradidático de matemática. **Dissertação (Mestrado em Educação: Educação Matemática)**. Campinas,SP: Faculdade de Educação, UNICAMP, 2002, 162p.

ESTEVAM, C.S; SILVA, F.A. R; ZAMA, U.S. Pesquisa em Ensino de Ciências: Um Enfoque no Futuro do Ensino de Genética**. REVISTA FORMAÇÃO@,** v. 8, p. 5-19, n. 2016. Disponível em: <http://www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/fdc/article/view/1041>.

EÇA, L. P. *et al.*, **Biologia Molecular Guia Prático e Didático**. Editora: Revinter Ltda.Rio de Janeiro, 2004.

EVANGELISTA, N. A. M; CASTRO, R. P. Os conteúdos de genética em livros didáticos do ensino médio: itinerários de uma pesquisa. **III Encontro Regional de Ensino de Biologia-SBEnBIO Regional 4.** Anais do III EREBIO Regional 4, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2015.

FILHO, J. C. M. R; KIMURA, E.T. MicroRNAs: nova classe de reguladores na função endócrina e câncer. **Arquivos Brasileiros Endocrinologia & Metabologia**, v. 50, n. 6, São Paulo, 2006. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27302006000600018>. Acesso em: 02 set. 2015.

FILHO, J. P. A. Regras da transposição didática aplicada ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino em Física**, v.17, n. 2, p.1174-182, 2000. Disponível em: <periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/9006/13274>. Acesso em: 27 nov. 2016.

Fire A, Xu S, Montgomery MK, Kostas SA, Driver SE, Mello CC. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans. Nature. 1998; 391(6669):806-11.

FRANÇA, N, F. *et al.*, 2010. Interferência por RNA: Uma nova alternativa para terapias nas doenças reumáticas. **Revista Brasileira de Reumatologia**. São Paulo, v.50, n.6, p. 695-702, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0482-50042010000600008>. Acesso em: 10 out. 2015.

FREITAS, M. T. A. Uma teoria social do desenvolvimento e da aprendizagem. **Revista Presença Pedagógica.** Belo Horizonte: Dimensão, V. 13, n. 73, p.16-27, jan./fev.2007.

GOLDBACH, T. BERDOR, P. Estão os livros didáticos de biologia incorporando questões provindas do campo da pesquisa em ensino da área, como no caso do ensino de genética. **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, p.1-12, 2013. Disponível em:<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0199-1.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GOLDBACH, T; MACEDO, A. G. A. Olhares e tendências na produção acadêmica Nacional envolvendo o ensino de genética e de temáticas afins: contribuições para uma nova "Genética Escolar". **Encontro Nacional de Pesquisas em Ensino de Ciências**, 6, Atas. Florianópolis, SC, 2007. Disponível em: Disponível em:<http://www.fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p545.pdf>. Acesso em: 02 set. 2015.

GONSALVES, E.P**. Conversas sobre a iniciação à pesquisa cientifica**. Campinas, SP: Alínea, 2001.

GONZALEZ-ESPADA, W. J. The role of the scientific community in school science education. **INCI**, Caracas, v. 32, n. 8, agosto, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000800005&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 04 set. 2016.

GRIFFITHS, A, J, F. *et al.* **Introdução a Genética.** 9°ed. Editora: Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2008.

GUERTLER, C. *et al.* Hemograma e sobrevivência de camarões marinhos após silenciamento do WSSV por RNA de interferência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n. 8, p. 983-990, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2013000800028&script=sci_arttext>. Acesso em: 02 ago. 2015.

HE, L; HANNON, G. J. MicroRNAs: small RNAs with a big in gene regulation. **Nature Reviews Genetics,** v. 5, p. 522-531, 20o4. Disponível em: <http://hannonlab.cshl.edu/publications/HeandHannonNRG2004.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

JIANG, Y. *et al.* Bivalent RNA iterference to increase isofavone biosynthesis soybean (Glycine max). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.57, n. 2, p.163- 170, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/babt/v57n2/cd_1102.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2015.

JUSTINA, L.A. D; RIPEL, J. L. Ensino de Genética: Representações da Ciência da Hereditariedade no Nível Médio**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências- ENPEC.** Atas do ENPEC, Bauru, São Paulo, 2003.

LIN, C. J; BARBOSA, A. S. Técnicas de Análise da Regulação da Transcrição Gênica e suas Aplicações na Endocrinologia Molecular. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia,** v. 46 nº 4, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abem/v46n4/12788.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

MACEDO, E. F. Os temas transversais nos Parâmetros Curriculares Nacionais. **Revista química nova na** escola, v. 8, p. 23-27, nov.1998. Disponível em: <qnesc.sbq.org.br/online/qnesc08/espaco.pdf >. Acesso em: 02 nov. 2016.

MARÍN, Y. A.O. Aprender sobre herança genética: mais que um quadro de Punnett**. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC**, Atas do IX ENPEC, Águas de Lindóia, SP, 2013.

MATOS FILHO, M. A. S. *et al.* A transposição didática em chevallard: as deformações/transformações sofridas pelo conceito de função em sala de aula. **Congresso Nacional de Educação**. 2008. p. 1191-1201. Disponível em: <http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2008/anais/pdf/431_246.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MENEZES, J. E. *et al.* A transposição didática em chevallard: as deformações/transformações sofridas pelo conceito de função em sala de aula. **Congresso Nacional de Educação**. 2008. p. 1191-1201. Disponível em:<http://www.pucpr.br/eventos/educere/educere2008/anais/pdf/431_246.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MENCK, C. F. M; VENTURA, A. M. Manipulando genes em busca de cura: o futuro da terapia gênica. **REVISTA USP**, n.75, p.59-60, 2007. Disponível em:<http://www.usp.br/revistausp/75/05-carlos-armando.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2015.

MENCK, C. F. M. A nova grande promessa da inovação em fármacos: RNA interferência saindo do laboratório para a clínica. **Estudos avançados**, v. 24, n. 70, p. 99-108, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142010000300007&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: 08 dez. 2010.

MOREIRA, A. M; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. 2. Ed. São Paulo: centauro, 2006.

MOREIRA, L. M. O uso do corpo como ferramenta pedagógica: um modelo alternativo que desconsidera a ausência de recursos específicos para o ensino de bioquímica e biologia molecular no ensino fundamental. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 5, n. 1, p. 31-44, 2007. Disponível em: <http://bioquimica.org.br/revista/ojs/index.php/REB/article/view/31>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MOTA, G. A. *et al.* A síntese de proteínas na concepção de alunos do 1º ano do Ensino Médio da escola campo: avaliação do estagio supervisionado. **Congresso de Educação de Iporá,** p. 343-354, 2015. Disponível em:<http://www.anais.ueg.br/index.php/congressoeducacaoipora/article/view/4376>. Acesso em: 10 dez. 2016.

NAMBUDIRI, V. E; WIDLUND, H. R. Small Interfering RNA. **Journal of Investigative Dermatology**, 2013. Disponível em:<http://www.nature.com/jid/journal/v133/n12/pdf/jid2013411a.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2015.

NELSON, D. L; COX, M. M. **Lehninger Princípios de Bioquímica**. Editora: Sarvier, 3° ed. São Paulo, 2002.

NETO, A. L. M. Os conceitos de genética nos livros didáticos de biologia entre as décadas de 1970 e 1990. **III Encontro Regional de Ensino de Biologia- SBEnBIO Regional 4.** Anais do III EREBIO Regional 4, Juiz de Fora, Minas Gerais, 20215.

NEVES, K. C. R; BARROS, R. M. O. Diferentes olhares acerca da transposição didática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 103-115, 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ienci/artigos/Artigo_ID256/v16_n1_a2011.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2016.

NOGUEIRA, C. M. I. As teorias de aprendizagem e suas implicações no ensino de Matemática. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**. Maringá, v.2, n. 1, p. 83-2, 2007. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.4025/actascihumansoc.v29i1.141>. Acesso em: 28 out. 2016.

OLIVEIRA, L, G; FRANCO, M, A, M. O uso do gênero textual história em quadrinhos no ensino de genética para o ensino fundamental. **III Encontro Regional de Ensino de Biologia- SBEnBIO Regional 4.** Anais do III EREBIO Regional 4, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2015.

OLIVEIRA, M, L. **(IM)PERTINÊNCIAS DA EDUCAÇÃO.** O trabalho educativo em pesquisa. Editora UNESP. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, T. B; SILVA, C. S. F; ZANETTI, J, C. Pesquisa em Ensino de Genética (2004-2010). **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC**. ATAS do VIII ENPEC, Campinas, São Paulo, 2011.

PARRISH, S; FIRE, A. Distinct roles for RDE-1 and RDE-4 during RNA interference in Caenorhabditis elegans. **RNA A Publication of The RNA Society.** 2001. Disponível em: <http://rnajournal.cshlp.org/content/7/10/1397.long>. Acesso em: 04 ago. 2015.

PEREIRA, T. C. **Introdução à técnica de interferência por RNA-RNAi**.Editora Cubo, Ribeirão Preto São Paulo.

PERRENOUD, P. Dez novas competências para ensinar: Convite à viagem. Porto Alegre, Artmed, 2000.

ROSA P. R. S. Fatores que influenciam o ensino de ciências e suas implicações sobre os curricula dos cursos de formação de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v.16, n.3, p. 287-313,1999.

SASSERON, L. H; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigação em ensino de ciências** v.16 n.1, p.59-77, 2011. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID254/v16_n1_a2011>. Acesso em: 28 out. 2016.

SENGUPTA, S. Bringing RNA Interference (RNAi) into the High School Classroom. **The American Biology Teacher**, v.75, n. 9, p. 698-703, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/home/Downloads/10.1525@abt.2013.75.9.12%20(2).pdf>. Acesso em: 02 nov. 2016.

SILVA, G. R; CHAGAS, E. Percepção docente sobre o ensino de Química Quântica no curso Técnico Integrado em informática. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC.** Águas de Lindóia, São Paulo, 2015.

SILVA, V. F; et al. O jogo didático como contexto para a identificação de lacunas de genética sistêmica. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC.** Águas de Lindóia, São Paulo, 2013.

SILVEIRA, R. V. M; AMABIS, J. M. COMO OS ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO RELACIONAM OS CONCEITOS DE LOCALIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO MATERIAL GENÉTICO? **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências-ENPEC**. ATAS do IV ENPEC, Bauru, São Paulo, 2003.

SILVA, O. G; NAVARRO, E. C. Arelação professor-aluno no processo ensino-aprendizagem. Revista Eletrônica Interdisciplinar, v. 2, n. 8, 2012. Disponível em: <http://www.univar.edu.br/revista/index.php/interdisciplinar/article/view/82>. Acesso em:13 nov. 2016.

Tavares, R. Aprendizagem Significativa. **Revista Conceitos**, v. 55, n. 10, 2004. Disponível em:<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/2004AprendizagemSignificativaConceitos.pdf>. Acesso em 13 nov. 2016.

VASCONCELOS, C; PRAIA, J. F; ALMEIDA, L. S. TEORIAS DE APRENDIZAGEM E O ENSINO/APRENDIZAGEM DAS CIÊNCIAS: DA INSTRUÇÃO ÀAPRENDIZAGEM. **Psicologia Escolar e Educacional**, 2003 volume 7, número 1 11-19. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pee/v7n1/v7n1a02.pdf>. Acesso em: 02 out. 2016.

VAZ, E. K. Resistência antimicrobiana: como surge e o que representa para a suinocultura. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 37, n. Supl 1, p. 147-150, 2009. Disponível em:<http://www.ufrgs.br/actavet/37-suple-1/suinos-16.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2016.

VÁZQUEZ-ORTIZ, G; *et al.* Grandes alcances de los RNAs pequenos RNA de interferência y microRNA**. Revista de investigación clínica**, v.58, n.04, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ric/v58n4/v58n4a9.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2015.

XAVIER, M. C. F. *et al.*A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no ensino médio. **Ciência & Educação**, v.12, n. 3, p. 275-289, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v12n3/03.pdf>. Acesso em: 08 out. 2015.