

## ARTICULANDO CONCEITOS EM BIOLOGIA MOLECULAR?

Marília de França Rocha,

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco,

[marilia.rocha@upe.br](mailto:marilia.rocha@upe.br)

Ana Maria dos Anjos Carneiro Leão,

<sup>2</sup>Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Universidade Federal Rural de

Pernambuco,

[amanjos50@gmail.com](mailto:amanjos50@gmail.com)

### RESUMO

A construção conceitual em Biologia Molecular convoca diferentes competências, como a leitura de textos específicos e compreensão de técnicas, até a navegação em sites de genômica. Este trabalho objetivou analisar a formação/articulação de conceitos em Genética Molecular, no tema *Replicação*, no Bacharelado em Ciências Biológicas. Após aula anterior do tema, com duração de três horas e 20 minutos, ministrada por um professor da área, foram disponibilizadas 17 palavras-conceito, que deveriam constar em um texto construído por estudantes do 3º período. A amostra compôs um total de 20 textos, possibilitando a identificação de lacunas na aprendizagem envolvendo a célula e o ciclo celular, especialmente sobre divisão celular, interfase, mitose, meiose, cromatina, cromossomo, DNA, gene e nucleotídeo. Quanto à replicação propriamente dita nenhum texto demonstrou um encadeamento lógico do processo, observando-se, inclusive, dificuldade em diferenciar transcrição e tradução. Assim, como trabalhar com discentes que passaram por disciplinas como Citologia, Bioquímica, Genética Básica/Geral e não conseguem articular esses conceitos? Sugere-se a necessidade de rever paradigmas docentes na formação inicial, de modo a que o estudante se perceba como um produtor ativo de significados.

**PALAVRAS-CHAVE:** ensino superior; paradigmas; complexidade

### INTRODUÇÃO

Várias áreas contribuem para o corpo conceitual das Ciências Biológicas. Uma delas é a Biologia Molecular (BM), que compreende o estudo dos genes no nível molecular e tem se desenvolvido rapidamente, em razão dos avanços das **ômicas**. De acordo com Pierce (2011), a Genômica tenta compreender o conteúdo, a organização, o funcionamento e a evolução de genomas inteiros, enquanto a Proteômica é o estudo do proteoma, ou seja, o conjunto completo das proteínas de uma determinada célula. A BM convoca diferentes competências, como a leitura de textos específicos e compreensão de técnicas, até a navegação em sites de

dados estabelecidos para coletas e análise de informações (sobre sequências de DNA e proteínas) em bancos de dados públicos ligados a internet, tais como: GenBank, EMBL-Bank, FlyBase e UniProt.

Dados disponíveis sobre BM têm aumentado assustadoramente e, até para os envolvidos em seu estudo, é difícil acompanhar toda a gama de novos conhecimentos, pois articular esses conceitos requer transitar entre os diferentes níveis de organização biológica. No entanto, a forma como estas informações chegam à escola e ao cidadão comum, é superficial e muitas vezes carregada de determinismo genético, como observado no Brasil (GOLDBACH; EL-HANI, 2008; SCHNEIDER et al., 2011; LEGEY et al., 2012), e em outros países (BOUJEMAA et al., 2010; CASTÉRA e CLÉMENT, 2014). De acordo com Capra (2005 p. 174)

... os conceitos tradicionais do “determinismo genético” – entre os quais o conceito de programação genética e, talvez, o próprio conceito de gene – não correspondem à realidade e precisam ser radicalmente revistos.

Além disso, é comum observar a supervalorização de conceitos considerados atuais ou “de ponta” por leigos e especialistas, em detrimento de concepções básicas como destacam Camargo; Infante-Malaquias; Amabis (2007, p. 3):

É comum, por exemplo, que o professor queira saber sobre transgênicos e células-tronco, mas não se preocupe em relacionar este conhecimento a conceitos fundamentais, como expressão gênica e diferenciação celular.

Conceitos como os listados acima fazem parte de diferentes disciplinas, a exemplo da Biologia Celular e Molecular, da Bioquímica e da Genética Molecular. Dessa forma, como falar sobre clonagem, terapias celular e gênica, câncer, entre outros se a compreensão dos conceitos básicos e suas relações não foi atingida? Isto decorre de uma abordagem conservadora, na qual a característica fundamental é a repetição do conhecimento e a visão mecanicista.

Uma questão subjacente ao estudo da Biologia, que ainda parece pouco clara entre os profissionais da área, inclusive os formadores é compreender o significado de Vida. Desde a Educação Infantil nos deparamos com formulações de natureza cartesiana, como “animais têm vida; pedras, não têm vida”. Assim, a partir dessa perspectiva, reforçada ao longo da escolarização, assumimos algumas questões como válidas, como o fato de “estar vivo se relaciona a respirar, comer e se movimentar”. Estas assertivas partem do senso comum em geral e quanto à Ciência – tudo o que pode ser percebido com nossos cinco sentidos, pode ser testado e é reproduzível; portanto, significa que é confiável (CHALMERS, 1993).

Em 2007, Sá avaliou as concepções sobre respiração em alunos de diferentes níveis de escolarização (desde o Ensino Fundamental ao mestrado *Stricto Sensu* em Bioquímica, passando pela Licenciatura em Ciências Biológicas), traçando um perfil conceitual longitudinal. O que foi observado? Que as primeiras concepções sobre respiração eram de natureza vitalista, colocadas em assertivas simples, como “respiro para viver”. O que seria esperado à medida que a escolarização formal avançasse? Que uma maior capacidade de abstração fosse alcançada e que isto se refletisse na fala (verbal e/ou textual) dessas pessoas. Entretanto, observamos frequentemente uma sofisticação aparente no discurso, ainda que as primeiras concepções se mantivessem. Lidamos, assim com um paradoxo – a crença nas primeiras ideias sobre respiração convivendo com concepções abstratas e processuais, como a “respiração celular”. Este termo é utilizado a partir do Ensino Médio para significar um conjunto de vias metabólicas que se inicia com a degradação oxidativa da glicose e culmina com a biossíntese de ATP – seja ao longo do processo, seja através da enzima ATP sintetase, na membrana mitocondrial interna<sup>1</sup>.

Assim, à medida que mais abstrações se fazem necessárias e existe a necessidade de integrar outras visões de mundo mais articuladas e contextuais, esse vácuo se torna evidente. O Paradigma Sistêmico-Complexo, desenvolvido a partir de nossa prática e de nossas concepções sobre Ciência, valoriza a reelaborada articulação das partes para a compreensão do todo. Esta concepção diferencia o olhar do professor quanto a sua perspectiva de mundo e à sua prática docente em sala de aula.

Como, então, compreender e construir o conceito de gene? Por que a expressão gênica é fundamental para a homeostase de um indivíduo (em qualquer espécie) quanto ao seu ambiente? Como esta interação homem-ambiente se relaciona com a Evolução? Que processos mediam a interação ambiente-indivíduo? Onde (e como) essas interações se materializam?

Difícilmente poderíamos pensar nesse assunto, sem considerar os níveis de organização biológica em um único indivíduo. Tomando a espécie *Homo sapiens* como modelo, estamos organizados em sistemas, órgãos, tecidos e células. Estas, por sua vez, reproduzem esse modelo de organização, considerando a função e integração das organelas.

A organização curricular dos cursos de formação inicial em Ciências Biológicas (Bacharelado e Licenciatura) ainda considera que os níveis de organização citados “pertencem” ao domínio disciplinar, consequência do Paradigma Cartesiano, fragmentador e

---

<sup>1</sup> Processos citosólicos (glicólise) e mitocondriais (conversão de piruvato a Acetil CoA, ciclo do ácido cítrico e fosforilação oxidativa na Cadeia Transportadora de Elétrons)

reducionista. Desse modo, torna-se extremamente difícil compreender que um hominídeo **precisava ter** reservas moleculares (para utilização de energia) na perspectiva da sobrevivência. Essas reservas permitiriam ações rápidas, como buscar uma presa ou fugir de um predador. Da mesma forma, permitiriam a médio e longo prazo sobreviver a um inverno ou estiagem prolongada.

Entretanto, em nossa prática docente atual, lidamos com os conteúdos disciplinares de forma estanque, importantes *per se*, em uma vertente tecnicista (BEHRENS, 2007, 2010). A integração de todos esses conhecimentos é considerada como mera responsabilidade do aluno.

Sem dúvida, tem havido um esforço em determinadas áreas, como na Genética, para facilitar a compreensão da abordagem molecular. Um aspecto notável é o aumento de modelos didáticos objetivos e práticos, que facilitam a sua explanação, como apresentados na Revista Genética na Escola, disponível no site da Sociedade Brasileira de Genética ([www.sbg.org.br](http://www.sbg.org.br)). Entretanto, é preciso ressaltar que se faz necessária uma prática docente questionadora, problematizadora e que estimule à reflexão sobre como os conceitos estão sendo construídos. Em outras palavras: as mudanças do mundo, do Conhecimento, da Ciência devem se refletir em nossa prática. Behrens (2010) traça a relação entre a prática pedagógica e o paradigma emergente, compreendido por nós como o Paradigma Sistêmico-Complexo.

Nesse contexto, procuramos contribuir para o aperfeiçoamento do ensino na área da Biologia Molecular ao analisar a formação/articulação de conceitos em Genética Molecular, no tema *Replicação*, no Bacharelado em Ciências Biológicas por meio da construção de textos e de sua discussão. Esta atividade é um recorte específico do projeto *Estimulando o pensar em grupo: construir, ligar e interligar conceitos por meio de oficinas pedagógicas interdisciplinares*<sup>2</sup>.

O estudante do Ensino Superior (ES) ao partilhar com seus pares o que estudou academicamente pode aprender de forma significativa ao confrontar seus saberes e expor seu ponto de vista. O estudante tendo “direito a voz” aprende a questionar, discordar, exemplificar, duvidar e buscar subsídios para fortalecer a sua argumentação. Aprende também, a ouvir o colega, exercitando a “ouvirtude” (ou a virtude de saber parar para ouvir o outro e esperar sua vez de falar). Nesse processo, também ensina ao desafiar o professor a buscar formas de transpor o saber da academia para o saber do cotidiano.

---

<sup>2</sup> CAAE 19224113.6.0000.5207, aprovado no parecer CEP 555.762

## DESENVOLVIMENTO

### Metodologia

A pesquisa desenvolveu ações voltadas para analisar a formação de conceitos em Genética Molecular, no tema Replicação, em 31 discentes, de uma turma de 3º período de graduação do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas de uma universidade de Pernambuco.

Nesta turma foram ministradas duas aulas, por um professor da área, sobre Estrutura de Ácidos Nucleicos e Replicação, com duração de três horas e 20 minutos cada. Deste período de tempo, duas horas foram destinadas a exposição do assunto e uma hora e vinte, a aplicação de listas de exercícios/pós-testes. Para a segunda aula, foi feita uma proposta pelas pesquisadoras de substituir esta atividade avaliativa por outra, na qual 17 palavras-conceito deveriam constar em um texto construído pelos estudantes: célula, cromatina, cromossomo, DNA, DNA polimerase, eucariontes, gene, helicase, interfase, meiose, mitose, nucleotídeo, pares de bases, procariontes, replicação, SSbs, topoisomerase.

Apesar do processo de replicação ocorrer em células, também foi solicitado que organizassem suas construções partindo de uma visão macro para a microscópica (ou vice-versa), considerando suas relações, a fim de perceber como os estudantes transitam em diferentes níveis de organização estrutural e funcional.

O *corpus* de análise deste trabalho compôs um total de 20 textos, sendo 11 feitos em dupla e nove construídos individualmente, podendo fazer uso de consulta. O projeto foi previamente apresentado aos estudantes, convidando-os a participar. Todos os participantes foram esclarecidos e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Nenhum aluno foi fotografado ou filmado, sendo mantido o anonimato de cada indivíduo.

Os textos produzidos foram identificados de T1 a T20. Foram consideradas as seguintes variáveis: (A) Dezessete termos envolvidos na genética propostos pelas pesquisadoras e, adicionalmente, cinco pelos discentes (divisão celular, ligase, núcleo, primase/primer e semiconservativa); (B) Conceitos de âmbito mais geral na perspectiva do trabalho (visão macro – organismo, divisão celular) e mais específico (visão micro – estrutura e função do DNA, replicação); (C) Relação entre conceitos; (D) Concepções errôneas ou infundadas sobre o tema e suas inter-relações. O passo seguinte consistiu no processo de relacionar categorias a partir das observações da lista de palavras, com o propósito de reorganizar os dados e identificar processos e suas relações, de forma qualitativa. Foram estas:

(1) Não citou o conceito; (2) Apenas citou o conceito; (3) Conceito correto; (4) Conceito incompleto/parcialmente correto e (5) Conceito incorreto.

As definições dadas pelos aprendizes foram comparadas utilizando-se as dos conceitos do glossário ou de trechos dos livros “Introdução à Genética” (SNUSTAD; SIMMONS, 2013) e “Fundamentos da Genética” (GRIFFITHS et al., 2013) adotados na disciplina de Genética Molecular.

Na semana seguinte foi dado o *feedback* das construções individuais e coletivas. Foi feito um acordo verbal sobre respeitar a opinião do outro, esperar a vez de falar, e se abster de qualquer comentário não construtivo, no intuito de exercer a ouvirtude.

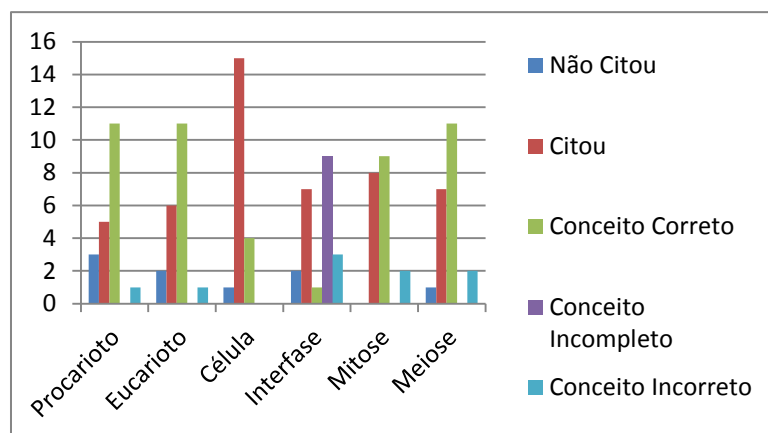
## **2. Resultados alcançados e discussão**

Dos 20 textos, apenas um não apresentou erros conceituais. No entanto, foi sugerido à dupla comparar a replicação procariótica com a eucariótica, com o intuito de se apropriarem melhor do tema e visualizarem semelhanças e diferenças entre os dois processos. Quanto à organização, apenas três o fizeram partindo da visão macro até a micro. A maioria dos textos apresenta uma mistura dessas visões na sua construção, notando-se a dificuldade em perceber o que é “mais micro” neste universo celular. Embora seja habitual a utilização de um sistema hierárquico, Capra (2006 p. 45) destaca que

...isso é uma projeção humana. Na natureza, não há “acima” ou “abaixo”, e não há hierarquias. Há somente redes aninhadas dentro de outras redes.

Para facilitar a visualização e a discussão dos dados, os gráficos (Gráficos 1-3) foram construídos com até seis conceitos. O primeiro gráfico trata dos conceitos selecionados pelas pesquisadoras e considerados macro para a discussão em tela, enquanto os gráficos 2 e 3 apresentam os categorizados como micro. Alguns conceitos podem estar incluídos em duas das cinco categorias. As categorias (4) Conceito incompleto/parcialmente correto e (5) Conceito incorreto foram tratadas conjuntamente, sendo a primeira destacada em itálico e a segunda em sublinhado, respectivamente, para facilitar a discussão. A seguir, o gráfico 1 apresenta os conceitos considerados macro para a discussão do tema replicação.

**Gráfico 1- Representação das concepções dos estudantes envolvendo organismos e divisão celular**



Os termos **procariotos e eucariotos** foram os que mais apresentaram conceitos construídos de forma correta, no entanto um texto apresentou a seguinte citação:

T17- Todo ser vivo apresenta características que o constitui em uma perfeita organização estrutural, onde há células procariotes e eucariotes. [grifos nossos]

É preocupante observar tal construção realizada por um aluno do 3º período de Biologia. Durante a discussão dos textos (*feedback*) foi verificado, que era de fato uma ideia trazida pelo estudante, como se células procariotas e eucariotas pudessem compor um mesmo ser. Nesse momento, foram feitas, por seus colegas, muitas alusões à simbiose de bactérias, que compõem a flora dos tratos digestório e urinário humano. Comentários desse participante sobre tecido epitelial evidenciaram, também, a confusão sobre epitélio de transição compreendido como se fosse metaplásico. Essas observações corroboram os dados de Legey et al. (2012, p. 213) quando afirmam que

....a aprendizagem de conceitos científicos, como os de célula, é um processo mental complexo que engloba a construção de representações episódicas e a memória de longo prazo.

Outra concepção digna de nota foi a do texto 16, a qual explicita “Os seres eucarióticos são mais complexos, pois compreendem a maioria dos seres vivos, já os procariotes compreendem apenas os seres do reino monera”. Eucariotos não são mais complexos por este motivo. É comum se pensar em complexidade como sinônimo de evolução, fato observado durante a discussão, mostrando como é difícil abordar níveis de complexidade. É importante esclarecer que, para um dado tempo e espaço (ambiente), todos os seres que ali vivem são evoluídos, ou seja, adaptados para manter e perpetuar a Vida.

Quanto à complexidade, segundo Capra (2006), em cada nível os fenômenos estudados mostram propriedades que não existem no nível anterior.

Outro ponto de destaque está relacionado à quantidade. É possível usar a citação de parte de um texto de um divulgador de ciência, muito popular, o Dr. Draúzio Varela.

Sabe-se, hoje, que metade da biomassa terrestre ... é constituída por seres unicelulares. As bactérias representam, então, o maior exemplo de sucesso ecológico na história da vida desse planeta. O número de bactérias que nos colonizam, especialmente na pele e no trato digestivo, é muito superior ao número de células que constituem nosso corpo e sua diversidade é tanta que só conhecemos mais ou menos 50% delas, pois as demais nunca foram cultivadas. (<http://drauziovarella.com.br/audios-videos/drauzio-entrevista/o-mundo-das-bacterias/> Acesso em 02 de out 2014)

Ora, estas informações estão na mídia e não fazem parte apenas do conhecimento acadêmico, então como entender a afirmação de que **eucariotos são mais abundantes**? O que não é percebido com os sentidos, no caso a visão, faz parte do mundo invisível, possibilitando uma gama de concepções alternativas. O mesmo pode ser observado conceitos de outras disciplinas tais como Biologia Celular, Biofísica, Bioquímica, Genética, Microbiologia, entre outras. Além de especializados, tais conceitos são tratados de forma abstrata, na perspectiva de Morin (2002, p. 41):

A especialização “abs-trai”, em outras palavras, extrai um objeto de seu contexto e de seu conjunto, rejeita os laços e as intercomunicações com seu meio, introduz o objeto no setor conceptual abstrato que é o da disciplina compartimentada, cujas fronteiras fragmentam arbitrariamente a sistemicidade (relação da parte com o todo) e a multidimensionalidade dos fenômenos; conduz à abstração matemática que opera de si própria uma cisão com o concreto, privilegiando tudo que é calculável e passível de ser formalizado.

O termo **célula** foi citado pela maioria apenas dentro do contexto. Somente quatro textos desenvolveram o conceito de forma simplificada, referindo-se a “unidade morfológica e fisiológica dos seres vivos”. Isto também foi observado por outros autores como Legey et al. (2012), que destacam a apropriação de conceitos corretos, porém simplistas como o observado. Isto é agravado pelo pensamento cartesiano como destaca Capra (2006, p. 37)

Quando Rudolf Virchow formulou a teoria das células em sua forma moderna, o foco dos biólogos mudou de organismos para células. As funções biológicas, em vez de refletirem a organização do organismo como um todo, eram agora concebidas como um resultado de interações entre os blocos de construções celulares.

Vários trabalhos apontam a dificuldade de aprendizagem referente ao conceito de **ciclo celular**, essencial na existência e manutenção do organismo vivo. Sobre a **interfase**, foi



notória a dificuldade de desenvolver o conceito, o qual agrupa várias construções incompletas/parcialmente corretas (destaque em itálico) e incorretas (sublinhado), como presente nas seguintes construções:

T3-A interfase é uma fase que *precede a mitose*....

T16-O período de vida de uma célula é dividido em interfase (*período em que a célula está se preparando*) e divisão celular (mitose e meiose).

T1- Antes de iniciar a divisão celular, o DNA encontra-se descondensado, esta fase é conhecida como cromatina....

T7-Material genético que também precisa ser dividido para que ocorra a divisão celular, esse processo ocorre na fase em que chamamos de interfase ou fase S.

Vários textos se referem à **interfase** como uma fase de preparação e não como o período no qual a maioria das nossas células está, ou seja, em plena atividade metabólica. É como se a célula entrasse novamente na interfase apenas para que uma nova divisão celular aconteça. Em outras palavras, a compreensão sobre interfase (e seu significado no contexto do ciclo celular) é incompleta e distorcida. Além disso, não diferenciam a fase e suas etapas. Observa-se ainda a noção do “DNA empacotado”, ou seja, não se diferenciam as concepções de cromatina e cromossomo, existindo uma ideia descontextualizada de menor ou maior condensação do DNA. O **ciclo celular**, assim, é visto como um amontoado de nomes sem conexões.

Lopes (2007) destaca que **ciclo celular** por ser um conteúdo abstrato e microscópico se constitui numa barreira intransponível para a maioria dos estudantes, em razão do nível de abstração necessário a sua compreensão como, por exemplo, a relação entre o mundo micro e o macro, que permite o entendimento do funcionamento do corpo de forma sistêmica.

Das palavras selecionadas para aparecer nos textos, dentro desse recorte (conceitos macro), apenas **mitose** se fez presente em todos. Alguns textos apenas citaram os conceitos de **mitose** e/ou **meiose**. A maioria desenvolveu os conceitos corretamente. Entretanto, por ter utilizado apenas o texto e devido a discussão envolver muitos elementos, não foi possível verificar até que ponto, o conceito escrito é algo apenas memorizado.

A seguir, são exibidas algumas concepções, consideradas inadequadas, sobre **divisão celular** inseridas nos textos sob análise, sem seguir um encadeamento lógico dos processos celulares e de sua implicação para os organismos envolvidos.

T4-...mitose (uma célula divide o *seu citoplasma*...)...ou meiose ....e que podem acontecer simultaneamente na mesma célula.

T17-É também no núcleo que ocorre as divisões celulares sucessivas denominadas mitose e meiose, cujo período entre elas é chamado de interfase que é o intervalo das duas divisões e onde a atividade do núcleo é mais alta.

T17-A mitose é o tipo de reprodução assexuada, onde uma célula dá origem a duas outras....

T11-No planeta existem seres procariontes e eucariontes, eles passam por um processo de divisão celular, sendo eles mitose e meiose.

T1-...as células estão em constant(i)mente em processo de divisão ....

T10-Dentre os muitos papéis e atividades desenvolvidas pelas células vivas, a divisão possui o maior êxito.

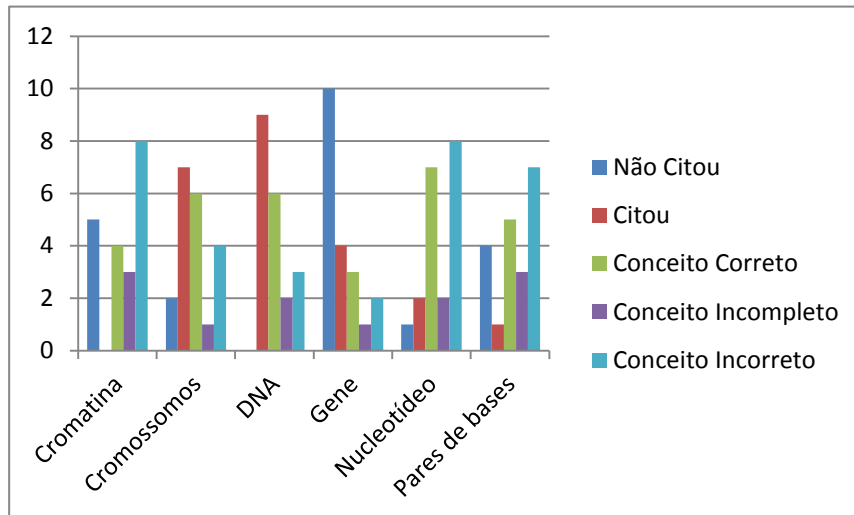
Alguns textos apontam para a ideia de que a **divisão celular** ocorre no núcleo (mitose/meiose) ou no citoplasma (citocinese), desconsiderando o fato de que o processo é dinâmico e integrado. É importante frisar que as fases envolvidas são uma forma didática de se analisar o processo, pois ao microscópio é possível observar rotineiramente “fases intermediárias”. Os métodos de fixação do material biológico (para Histologia e Citogenética) captam um momento da divisão celular para uma dada célula, como uma fotografia (estática). Os estudantes também desconsideram a impossibilidade da mitose e da meiose serem simultâneas em uma mesma célula. Nem toda célula irá sofrer mitose, a exemplo de muitos dos nossos neurônios, e muito menos meiose, observada apenas nas células germinativas. Além disso, procariotos sofrem fissão, por não possuírem citoesqueleto e, por esta razão, não poderiam sofrer mitose e meiose (ALBERTS et al., 2011).

Ao apontarem a divisão celular como possuindo “maior êxito” dentre os papéis celulares, fica clara a não compreensão da interfase como a “fase constitutiva” de nossas células e da sua importância no metabolismo e manutenção celular. A interfase deve ser considerada em sua perspectiva e não tratá-la como um mero intervalo - concepção antiga perpetuada por métodos memorísticos e descontextualizados. Klautau et al. (2009) apontam que estudantes universitários e de ensino médio dificilmente revelam uma compreensão fundamentada dos fenômenos e processos celulares, nem os relacionam com os conceitos da genética. Se alcançado, seria possível estabelecer relações entre o ciclo celular, a manutenção dos tecidos e a perpetuação da Vida.

Os dados seguintes trataram dos conceitos considerados micro, divididos em dois gráficos e suas respectivas discussões. O gráfico 2 tratou de conceitos que transitam entre os

conceitos considerados macro e micro e abordam a estrutura e funcionalidade do DNA e o gráfico 3 abordou a replicação propriamente dita.

**Gráfico 2- Representação das concepções envolvendo estrutura e função do DNA**



Os conceitos de **cromatina** e **cromossomo** apresentaram muitas concepções inadequadas, como podem ser observados nos recortes abaixo.

T5-Na interfase, o cromossomo está totalmente descondensado formando a cromatina, que é uma proteína....

T7-O material genético pode ser encontrado em duas *formas morfológicas*, a cromatina e o cromossomo....

T8-Nas células eucariontes o cromossomo e a cromatina (cromossomo condensado) se encontram no núcleo.

T10-Os filamentos formados por todos os cromossomos dentro do núcleo no estado da mitose é identificado como cromatina.

T20-...o conjunto dentro do núcleo formado por cromossomos é chamado de cromatina.

A cromatina forma complexos de DNA/proteínas (especialmente as histonas) e diversos tipos de pequenos RNAs. Somente quando a célula entra em processo de divisão, essa fica mais compactada sob a forma de cromossomo (SNUSTAD; SIMMONS, 2013). Os textos, além de refletirem o desconhecimento sobre a importância do empacotamento de DNA, como já referido na discussão sobre interfase, também se reportam à cromatina como uma “espécie de local”, tal qual um núcleo, na concepção do texto 17. Sabe-se também que a configuração da cromatina, se menos ou mais descondensada (eucromatina e heterocromatina,

respectivamente) estão sob regulação epigenética que modifica a estrutura e o funcionamento do genoma, repercutindo sobre o perfil fenotípico, por meio da ativação ou desativação de genes (PIERCE, 2011; GRIFFITHS et al., 2013). Como transpor tal dificuldade conceitual? Como fazer o estudante perceber que se trata do mesmo DNA com configurações diferentes a depender do ambiente e de suas interações?

O local onde fica o DNA ainda é motivo de dúvida, como observado em T7 “Nos procariotos, o material genético, está disperso no citoplasma...”. E quanto ao nucleóide?

Em relação ao **DNA** e sua estrutura, era esperado que os discentes apresentassem uma coerência lógica e conceitos melhor formados. Mas não foi o que ocorreu, como o exemplificado:

T1-O material genético dos eucariontes e procariontes, de um modo geral é composto pelo DNA, o qual é constituído por polímeros de nucleotídeos, que por sua vez são formados por proteínas, grupo fosfato, pentose e pares de bases nitrogenadas....

T6-Cada nucleotídeo é formado por: (a) um açúcar ..., (b) um grupamento fosfato e (c) um par de bases púricas (adenina e guanina) e um de bases pirimídicas (citosina e timina, no DNA ou uracila, no RNA).

T15-Os pares de base se ligam através de pontes de hidrogênio para formar os nucleotídeos.

T19-O DNA é uma molécula formada por 1 pentose (desoxirribose), 1 fosfato, 1 pares de base nitrogenadas compostas por, 4 nucleotídeos diferentes: adenina, timina, guanina e citosina, que se ligam ao seu nucleotídeo complementar por ligações de hidrogênio.

Seria simplista responsabilizar os estudantes, o ensino básico, os livros didáticos e o processo de ensino fragmentado. Precisamos rever a prática docente, os professores do ensino básico são formados nas licenciaturas, cursos de graduação. Assim, todos têm seu quinhão de responsabilidade para não perpetuar o ciclo de concepções equivocadas pela falta de compreensão e contexto. Dessa forma, como explicar a importância de interação entre moléculas (proteínas, por exemplo) a depender do encaixe no sulco maior ou menor da estrutura da dupla hélice, para alunos que não compreendem nem a estrutura básica de um nucleotídeo? Como fazê-los pensar sobre diferentes funções de nucleotídeos, a exemplo do ATP, ao falar de estrutura de ácidos nucleicos? Como falar de hélices triplas e quádruplas (PIVETTA, 2013) relacionadas à regulação gênica?

Em relação ao conceito **gene** foi interessante notar que, mesmo elencando a palavra a ser utilizada em um texto, ela pode não aparecer. Isto ocorreu em 50% dos textos e nos chamou a atenção pelo fato de a disciplina ser Genética Molecular. No entanto, sabe-se que o conceito de gene é um dos mais difíceis da Biologia, equiparando-se ao de espécie. A maioria

dos textos que trataram desse termo apresentaram concepções inadequadas, como pode ser notado, a seguir.

T5-Os cromossomos são responsáveis por carregar as informações presentes nas células, ficam localizadas no núcleo celular, são constituídos por DNA, que tem padrões específicos e são denominados genes. O gene é um segmento de uma molécula de DNA que contém código para a produção de aminoácidos de cadeia polipeptídica e *as sequências reguladoras para a expressão*.

T7-O DNA contém uma sequência de códigos para a produção de aminoácidos chamados de genes...

T19-No segmento da molécula de DNA encontra-se os genes, que são partes deste segmento que contém um código para sintetizar aminoácidos.

As concepções apresentadas focam a síntese de proteínas, sem levar em conta que um RNA também pode ser um produto final. Além disso, confundem síntese de proteínas e síntese de aminoácidos e corroboram uma gama de trabalhos, que apresentam dados consistentes sobre a necessidade de se mudar a forma de tratar o conceito **gene**. Estes abordam as similaridades superficiais de mitose e meiose, o uso indiscriminado dos termos gene e alelo, da crise do conceito gene e de diferentes nomenclaturas para a palavra gene, metáforas e ideias sobre gene (JOAQUIM et al., 2007; GOLDBACH; EL-HANI, 2008; KLAUTAU et al., 2009; BOUJEMAA et al., 2010; SCHNEIDER et al., 2011).

Uma frase do texto 10 mereceu destaque

T10-O material genético deverá se replicar, controlar tanto o crescimento quanto o desenvolvimento do organismo, permitindo adaptações necessárias ao ambiente.

De acordo com Tidon (2006), as visões de Darwin e Mendel representaram grande avanço científico na época em que foram propostas, mas, posteriormente, atuaram como obstáculos por entrarem em contradição com descobertas da Biologia de Populações e do Desenvolvimento. Nesse contexto, duas ideias equivocadas, em especial, comprometem o entendimento de processos ontogenéticos e da Biologia Evolutiva, nas palavras da autora (p. 41 e 42)

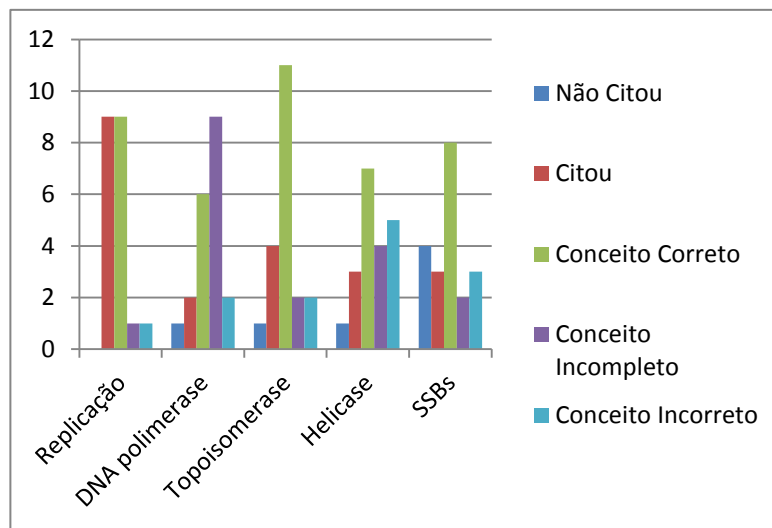
Na primeira delas, a ontogenia é vista como o *desdobramento* de formas que já estavam latentes nos genes, como se o desenvolvimento seguisse rigorosamente uma receita escrita no DNA dos organismos. Na segunda idéia, o processo filogenético é encarado como um *problema e solução*: o ambiente propõe um “problema” e os organismos oferecem “soluções”, sendo que a melhor delas será finalmente “escolhida”.

Essas explicações se mostram inadequadas uma vez que a relação entre gene, organismo e ambiente é muito mais complexa do que o esperado. Tindon (2006, p. 43) ainda destaca que

O fenótipo de um organismo está continuamente se modificando, do nascimento à morte. Em qualquer momento, ele não é simplesmente o resultado da interação de seus genes com o ambiente, mas também do próprio fenótipo no momento anterior. Portanto, o organismo não é apenas o objeto de forças do desenvolvimento, é também o sujeito dessas forças.

Os dados seguintes dão continuidade à discussão dos conceitos considerados micro. O gráfico 3 abordou a replicação propriamente dita.

**Gráfico 3- Gráfico dos conceitos envolvendo a replicação propriamente dita**



Dos vinte textos, o conceito geral de **replicação** foi apenas citado em nove desses, sem que houvesse uma definição mínima e mesmo sabendo que o tema a ser tratado seria replicação. Em outros nove, as definições foram corretas. A frase abaixo mostra uma concepção incorreta sobre sínteses de DNA e proteína.

T15-As SSBs servem como presilhas para manter a molécula esticada para o início da tradução, que é a síntese de DNA.

No momento da discussão, o estudante alegou ter escrito de forma equivocada e argumentou saber o que é replicação e tradução. Isto mostra a importância de escutar o aluno, que ao expressar o pensamento, pode desfazer uma falsa impressão ou dar a oportunidade ao mesmo de reformular o pensamento.

A sentença, a seguir, foi escolhida para tratar de um tema importante para o processo.

T4-A célula pode sofrer replicação, que nada mais é do que a duplicação do material genético *através de um molde*.

Segundo Capra (2005), a fidelidade da replicação do DNA, que está na origem da estabilidade genética, não é tão precisa quanto se esperava e o DNA não é tão estável. Além

disso, parece haver mecanismos que geram erros de cópia por meio da mitigação de alguns dos processos de controle.

Não se pensava em **reparo** porque ninguém imaginava que o DNA se alterasse tanto. Sabia-se sobre as mutações e acreditava-se que fossem raras. No entanto, se não houvesse reparo de DNA, a vida não existiria. Provavelmente, o primeiro mecanismo de reparo deve estar relacionado com ultravioleta, em razão de a vida ter evoluído na Terra sem camada de ozônio, onde era preciso reparar danos ocasionados ao material genético. Assim, nas palavras de Capra (2005, p. 177)

...as mutações são geradas e controladas ativamente pela rede epigenética da célula e que a evolução é um elemento essencial da auto-organização dos organismos vivos.

No contexto, das novas descobertas da genética quiçá possamos vislumbrar uma mudança lenta e gradual, no qual as estruturas deixam de ser o foco principal e a organização das redes metabólicas, ou seja, os processos epigenéticos, passam a comandar a mudança de um pensamento reducionista para um sistêmico.

Outras citações que mereceram um comentário foram as dos textos 1 e 11.

T1- O processo do DNA mais aceito é o semiconservativo...

T11-A replicação do DNA pode ocorrer de 3 formas distintas mas apenas uma é a mais adequada para o processo, sendo a replicação semiconservativa...

Há claramente uma mistura entre a **replicação semiconservativa** da molécula do DNA, que conserva um filamento molde em cada molécula nova, prevista no modelo da teoria testada por Matthew Meselson e Franklin Stahl, em 1958, caso que

...ilustra a noção de que a teoria antecede a experimentação, sendo esta planejada sobretudo para testar se a teoria (ou o modelo) está em conformidade com a realidade (SILVA, 2013, p.58)

Quanto às enzimas implicadas no processo da replicação, a maioria as definiu de forma correta, no entanto, por estar no final da discussão não foi possível avaliar o que foi apreendido de forma memorística e o que de fato foi construído. Entre as concepções inadequadas, a mais frequente foi tratar das **DNA polimerases** como se sua única função fosse a polimerização da cadeia: “..as DNA polimerases...., onde a I e a III *atuam mais* que as demais” (T15).

Quanto as enzimas implicadas no processo da replicação, a maioria as definiu de forma correta, no entanto, por estar no final da discussão em sala de aula não foi possível avaliar o que foi apreendido de forma memorística e o que de fato foi construído.

Dentre as concepções inadequadas, a mais frequente foi tratar das polimerases como se sua única função fosse polimerização da cadeia, a exemplo do texto 15 “..as DNA polimerases...., onde a I e a III *atuam mais* que as demais.”

Quanto as demais enzimas, alguns exemplos de concepções incompletas ou incorretas foram elencados.

T5-As SSBs são proteínas que se juntam a fita de DNA que a enzima DNA helicase separou, impedindo assim que ela volte a se ligar

Fitas de DNA que não podem fazer pareamento devido a ação das **SSBs** da forma como é colocada seria extremamente perigoso para a célula, porém sabemos que isto é temporário e dinâmico, pois a medida que a síntese ocorre as SSBs dão espaço aos novos desoxirribonucleotídeos que irão formar ligações fosfodiéster no sentido 5'-3' e também formarão pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas.

Em alguns textos fica claro a memorização, a exemplo dos textos 10, 3 e 16.

T10-A topoisomerase que catalisa *a introdução ou remoção de superhélices no DNA*.

T3-Com isso a primase coloca um primer para ser o molde de um DNA....

T16-A replicação inicia-se quando a enzima primase liga-se uma sequência de nucleotídeos que forma 1 curto fragmento de RNA....

O problema básico nesses exemplos é para que servem essas enzimas e em que momento atuam. Para que são introduzidas ou removidas superhélices no DNA? Elas são negativas ou positivas? Responder a estas perguntas permite ao estudante mostrar uma compreensão mais adequada do papel da **topoisomerase**. Da mesma forma, podemos fazer perguntas semelhantes para a **primase**, visto sua função básica ser por um primer de RNA para fornecer uma extremidade 3'OH livre. O texto 16 mostra o desconhecimento em relação ao início da replicação e sua origem, única para procarioto e múltipla para eucarioto, em razão da quantidade e tamanho de cromossomos a serem replicados (SNUSTAD; SIMMONS, 2013).

Por fim, podemos citar a **ligase**, cuja concepção mais frequente é ilustrada no texto 10 “Se um filamento de DNA é sintetizado *descontinuamente* é necessário um mecanismo para unir os fragmentos, esse mecanismo é realizado pela enzima ligase.”

Muitos dos textos se referem a ligase apenas durante a síntese descontínua, e esquecem que a fita contínua também necessita de primer, cujo RNA será retirado e substituído por DNA e a última ligação será selada pela ligase (GRIFFITHS et al., 2013).



Considerando o papel fundamental do **DNA** como material genético, esse será capaz, então, de desempenhar três funções essenciais: a função genotípica – replicação, a função fenotípica – expressão gênica e a função evolutiva – mutação (SNUSTAD; SIMMONS, 2013).

## **CONCLUSÕES**

Os textos possibilitaram a identificação de lacunas na aprendizagem envolvendo a célula e o ciclo celular, especialmente sobre divisão celular, interfase, mitose, meiose, cromatina, cromossomo, DNA, gene e nucleotídeo. Quanto à replicação propriamente dita nenhum texto demonstrou um encadeamento lógico do processo. Assim, como trabalhar com discentes que passaram por disciplinas como Citologia, Bioquímica, Genética Básica/Geral e não conseguem articular esses conceitos? Sugere-se a necessidade de rever paradigmas docentes na formação inicial, de modo a que o estudante se perceba como um produtor ativo de significados.

Para promover um aprendizado ativo e significativo, em que o aluno transcenda a memorização de nomes, é fundamental que os conhecimentos se apresentem por meio do desenvolvimento de atividades que solicitem dos alunos várias habilidades, destacando-se o estabelecimento de conexões entre conceitos (ROCHA; JÓFILI, 2005), o que representará uma efetiva contribuição na área educacional. Pois segundo SCHOPENHAUER (2005, p.39)

.... uma grande quantidade de conhecimentos, quando não foi elaborada por um pensamento próprio, tem muito menos valor do que uma quantidade bem mais limitada, que, no entanto, foi devidamente assimilada. Pois é apenas por meio da combinação ampla do que se sabe, por meio da comparação de cada verdade com todas as outras, que uma pessoa se apropria do seu próprio saber e o domina....

Textos podem revelar uma topografia conceitual e, ao mesmo tempo, favorecer o reconhecimento das concepções prévias (ou alternativas) e as revistas pela sistematização da aula), o que favorece a identificação de lacunas na aprendizagem dos discentes envolvendo a célula e alguns de seus processos. Isto pode auxiliar o professor em uma melhor elaboração na intervenção didática, pontuando as dificuldades e/ou conceitos inadequados revelados.

Entender sistemicamente, de acordo com Capra (2006) significa utilizar um contexto e estabelecer a natureza de suas relações, o que é o oposto do pensamento analítico. Assim,

enquanto a análise isola algo a fim de entender, o pensamento sistêmico coloca-o no contexto de um todo.

## REFERÊNCIAS

ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Fundamentos da Biologia Celular*. 3ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2011.

BEHRENS, M. A. O paradigma da complexidade na formação e no desenvolvimento profissional de professores universitários. *Educação*, n. 3, p. 439-455, 2007

BEHRENS, M. A. *O Paradigma Emergente e a Prática Pedagógica*. 4ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

BOUJEMAA, A.; PIERRE, C; SABAH, S.; SALAHEDDINE, K.; JAMAL, C.; ABDELLATIF, C. University students' conceptions about the concept of gene: Interest of historical approach. *US-China Education Review*. Feb. 2010, Volume 7, No.2 (Serial No.63). disponível em: < <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED511219.pdf> >. Acesso em 03 de out de 2014.

CAMARGO,S.S.; INFANTE-MALACHIAS, M.E.; AMABIS, J.M. O ensino de biologia molecular em faculdades e escolas médias de São Paulo. *Revista brasileira de ensino de química e biologia molecular*. v.1, 1-14, 2007.

CAPRA, F. *As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Cultrix, 2005.

CAPRA, F. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 2006.

CHALMERS, A.F. *O que é Ciência afinal?* Editora Brasiliense, 1993. Disponível em < [http://www.nelsonreyes.com.br/A.F.Chalmers\\_-\\_O\\_que\\_e\\_ciencia\\_afinal.pdf](http://www.nelsonreyes.com.br/A.F.Chalmers_-_O_que_e_ciencia_afinal.pdf)>. Acesso em 12 de mai de 2014.

CASTÉRA, J.; CLÉMENT, P. Teachers' conceptions about genetic determinism of human behaviour: a survey in 23 Countries. *Science & Education*, 23 (2), 417-443, 2014. (2012 DOI 10.1007/s11191-012-9494-0). Disponível em: <[http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/01/02/42/80/PDF/Castera-Clement-Preprint\\_Sc\\_Ed.pdf](http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/01/02/42/80/PDF/Castera-Clement-Preprint_Sc_Ed.pdf)>. Acesso em 03 de out de 2014.

GOLDBACH, T.; EL-HANI, C.N. Entre receitas, programas e códigos: metáforas e ideias sobre genes na divulgação científica e no contexto escolar. *Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*. 2008. Acesso em 25 set., 2014, disponível em <[http://www.ppgect.ufsc.br/alexandriarevista/numero\\_1/artigos/CHARBEL.pdf](http://www.ppgect.ufsc.br/alexandriarevista/numero_1/artigos/CHARBEL.pdf)>. Acesso em

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S.R.; CARROLL, S.B.; DOEBLEY, J. *Introdução à Genética*: 10ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S/A, 2013.

JOAQUIM, L. M.; SANTOS, V. C.; ALMEIDA, A. M. R.;MAGALHÃES, J. C.; EL-HANI, C. N. Concepções de estudantes de graduação de biologia da UFPR e UFBA sobre genes e sua mudança pelo ensino de genética. In: *VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - SC*, Florianópolis: 2007. *Anais...* Florianópolis: ABRAPEC.

KLAUTAU, N.; AURORA, A.; DULCE, D.; SILVIENE, S.; HELENA,H.; CORREIA, A. Relação entre herança genética, reprodução e meiose: um estudo das concepções de estudantes universitários do Brasil e Portugal. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona*, p. 2267-2270, 2009. Disponível em: <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2267-2270.pdf>. Acesso em 02 de jun de 2014.

LEGEY, A.P.; CHAVES,R. MÓL,A.C.A.; SPIEGEL, C.N.; BARBOSA, J.V. E. COUTINHO,C.M. L. M. Avaliação de saberes sobre célula apresentados por alunos ingressantes em cursos superiores da área biomédica *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 11 (1), 203-224, 2012.

LOPES, F. M. B. Ciclo celular: Estudando a formação de conceitos no ensino médio. 2007. 101. *Dissertação* (Mestrado em Ensino das Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

MORIN, E. Os Sete Saberes necessários à educação do futuro. 12. ed. São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO, 2002.

PIERCE, B.A. *Genética - Um enfoque conceitual*. 3ed, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan 2011.

PIVETTA, M. O efeito da tripla hélice. *Revista FAPESP* Edição 207 - Maio de 2013. Disponível em < <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/05/14/o-efeito-da-tripla-helice/>>. Acesso em 13 de jan de 2014.

ROCHA, M. F.; JOFILI, Z. M. S. Mediações Triádicas no Tema Origem da Vida. In: *Congresso Brasileiro de Genética. Anais...* CDRom, Águas de Lindóia 2005.

SÁ, R.G.B. Um estudo sobre a evolução conceitual de respiração. *Dissertação de Mestrado* *Dissertação* (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SCHNEIDER, E.M.; JUSTINA, L.A.D.; ANDRADE, M.A.B.S.; OLIVEIRA, T.B.; CALDEIRA, A.M.A.; MEGLHIORATTI, F.A. Conceitos de gene: construção histórico-epistemológica e percepções de professores do ensino superior. *Investigações em ensino de ciências* – v.16(2), 201-222, 2011.

SCHOPENHAUER, A. *A arte de escrever*. L&PM Editora, 2007.

SILVA, E. O. *Conversando sobre Ciência*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2013.

SNUSTAD D. P; SIMMONS, M. J. *Fundamentos de Genética*. 6ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2013.

TIDON, S. Gene, organismo e ambiente. *Genética na Escola*, 01-02, 41-44, 2006.

***Links:***

Dráuzio Varela - <http://drauziovarella.com.br/audios-videos/drauzio-entrevista/o-mundo-das-bacterias/> Acesso em 02 de out 2014.

EMBL-Bank - <http://www.ebi.ac.uk/embl/>

FlyBase - <http://flybase.bio.indiana.edu/>

GenBank - <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>

UniProt - <http://www.ebi.ac.uk/uniprot/>

Sociedade Brasileira de Genética - [www.sbg.org.br](http://www.sbg.org.br)