

Leyla Mariane Joaquim

Um estudo empírico das concepções dos estudantes do curso de ciências biológicas da UFPR sobre genes

Monografia apresentada ao Departamento de Genética, referente à disciplina Estágio em Genética (BG016), para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas pelo Curso de Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. João Carlos Magalhães
(Setor de Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Universidade Federal do Paraná)**

**Co-orientador: Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani
(Departamento de Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia).**

**CURITIBA, PARANÁ
2006**

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores João Carlos Magalhães e Charbel El-Hani com gratidão e admiração. Penso que o saber não quer chegar a nenhum lugar. O saber encontra sua felicidade em aprender. Como andar de barco a vela em que o bom não é chegar, mas o estar indo. O prazer não está nem na partida nem na chegada, mas na travessia. Obrigada João por ter me ajudado na partida desta travessia, e principalmente pelos conselhos sábios a respeito dos rumos a seguir. Obrigada Charbel por ser meu orientador do mestrado, e assim, me proporcionar o sentimento de continuidade, e a felicidade de não ter chegado a lugar nenhum, mas de estar indo.

Ao meu tio Léo Cardon, pelas pequenas gentilezas do dia-a-dia e pelo incentivo intelectual. Com carinho, gratidão e imensa admiração.

À minha mãe por ser tudo para mim, à meu pai, irmãs e cunhado por serem uma família linda que me apoio em todos os momentos.

Aos meus cachorros pelo amor incondicional e fiel.

Aos meus grandes amigos, especialmente à Aninha “you’re the best friend that I ever had (...)you’re the first one, when things turn out bad, you know I’ll never be lonely” (Queen), à Camila “...you and I have memories, longer than the road that stretches out ahead” (Beatles), ao Fernando “Who’d imagine he’s man’s best friend, knowing he’s your friend in the end” (Gentle Giant), Robson, Cabral, Gabriel, Gordo, HF, Cave, Kelly, Thai, os da bio, Pedro, Du, entre muitos outros que não tem espaço neste pedaço de papel mas tem muito espaço no meu coração “All you need is Love!” (Beatles).

A todos os estudantes que responderam o meu longo questionário, com boa vontade e pouca resistência por respeito ao trabalho desenvolvido e a mim; Cíntia, Guilherme, “meninos do sexto período”, Sarah, Michele, Milena, Rafael entre muitos outros.

Aos estudantes que responderam o questionário mesmo com pouca consideração ao projeto, mas por consideração a mim; Verônica, Bello, Ralph, Ri, Beluga, Fabio, Fer, Fre, entre muitos outros.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	iv
TITULO.....	1
RESUMO.....	1
OBJETIVOS.....	1
4. INTRODUÇÃO.....	2
4.1 Desenvolvimento histórico do conceito Gene.....	3
4.1.1 Pré-história do gene: a natureza da hereditariedade.....	3
4.1.2 Genética Mendeliana Clássica.....	7
4.1.3 Genética Molecular.....	11
4.2 Como entender o que é um gene apesar da crise do conceito? O gene contemporâneo.....	15
4.3 Como ensinar sobre genes? Qual a situação da aprendizagem sobre genes em meio à crise do Conceito?.....	17
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
5.1. Questionários.....	19
5.2. Grupos.....	27
5.3. Categorias de análise.....	27
5.3.1. SESSÃO C: Questões Fechadas.....	27
5.3.2. Questão 1B: Em sua visão o que é um gene?.....	29
5.3.3. Questão 2B: Questão Fechada sobre conceito molecular clássico.....	29
5.3.4. Questões sobre <i>splicing</i> alternativo, pseudogenes e genes superpostos.....	29
5.3.5 Questão 9B, fechada com justificativa sobre o trecho.....	30
6- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1 Sessão C: questões fechadas.....	31
6.2. Questão 1B: Em sua visão o que é um gene?.....	33
6.3 Relação entre a questão aberta 1B “Em sua visão: O que é um gene” e a questão múltipla escolha 1C.....	35
6.4. Questão 2B sobre conceito molecular.....	35
6.5 Questões sobre <i>splicing</i> alternativo, pseudogenes e genes superpostos.....	35
6.6. Questão 9B.....	39
7. CONCLUSÃO.....	41
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

Lista de Tabelas

Tabela 1: Questões 1C e 2C.....	32
Tabela 2: Questão 1B; “Em sua visão, o que é um gene?”.....	34
Tabela 3: Questão 2B sobre conceito molecular clássico.....	35
Tabela 4: Questão 9B.....	39

Lista de Figuras

Gráfico: Questão 1C.....	32
Gráfico: Questão 2C.....	32
Gráfico: Questão 1B.....	34
Gráfico: Questão 3B.....	37
Gráfico: Questão 4B.....	38
Gráfico: Questão 5B.....	39
Gráfico: Questão 9B.....	40

1- TÍTULO

Um estudo empírico das concepções dos estudantes do curso de ciências biológicas da UFPR sobre genes.

2- RESUMO

O conceito de gene tem se tornado um importante tópico de debates na filosofia da biologia e biologia teórica, com muitos autores chegando a considerar que este conceito atravessa uma crise. Cientistas, filósofos, historiadores e educadores de ciência vêm discutindo amplamente as dificuldades deste conceito central do pensamento biológico. Tão importante quanto a discussão dos desafios a este conceito na literatura é a discussão em sala de aula. A finalidade deste trabalho é contribuir para uma abordagem mais crítica do conceito de gene no ensino de Biologia, tomando como ponto de partida um estudo empírico com os estudantes da Universidade Federal do Paraná. A metodologia empregada para a coleta dos dados envolveu a aplicação de questionários, os quais mostraram que o conceito molecular clássico predomina na visão dos alunos sobre genes.

3 - OBJETIVOS

Objetivo geral

- Analisar as concepções dos estudantes da UFPR sobre genes.

Objetivos específicos:

- Investigar e caracterizar as concepções de gene (e alguns conceitos relacionados) encontradas entre os estudantes do curso de Biologia da UFPR.
- Analisar os desenvolvimentos do debate sobre o conceito de gene e conceitos relacionados na filosofia da biologia e biologia teórica, como bases para a discussão dos dados empíricos coletados.
- Derivar dos resultados do estudo empírico indicações de diretrizes para a abordagem do conceito de gene.

4 - INTRODUÇÃO:

O presente trabalho está situado no campo interdisciplinar de história, filosofia e ensino de ciências, em virtude da proposta de que uma educação científica de qualidade envolve não somente ensino e aprendizagem *das* ciências, mas também *sobre* as ciências (ou sobre a *natureza da ciência*). Em outras palavras, é importante que a aprendizagem da ciência seja combinada com a aprendizagem sobre a ciência em todos os níveis de ensino, por meio de contextualizações históricas e filosóficas. No caso particular do ensino de genética, a necessidade de o ensino não se restringir unicamente aos aspectos teóricos e práticos da genética é agravada pelas dificuldades de conceituar o termo gene, bem como de termos relacionados, os quais requerem abordagens contextualizadas na história e na filosofia.

O conceito de gene é um tema central das ciências biológicas, possuindo grande proeminência tanto na imprensa científica quanto na leiga. No entanto, o entendimento do que é um gene está se tornando cada vez mais complexo. A crise deste conceito tem se constituído em um problema significativo tanto para cientistas, como para filósofos, historiadores e educadores de ciência.

A historiadora e filósofa da ciência Evelyn Fox Keller se refere, de modo cronologicamente adequado, ao século XX como “O século do gene”; afinal a genética foi um dos grandes marcos da Biologia deste século. Já de início, precisamente em 1906, William Bateson inventou o termo ‘genética’ e, três anos depois, o termo gene foi cunhado por Wilhelm Johannsen. Em meados do século XX, Watson e Crick, entusiasmados com proposição de um modelo da estrutura do DNA e a compreensão da participação dos genes na produção de proteínas, chegaram a anunciar terem descoberto o segredo da vida. E, ao fechar as cortinas do século do XX, em 13 de fevereiro de 2001, ocorreu o anúncio do esboço da seqüência do genoma humano.

Apesar deste rápido sucesso da genética, o conceito de gene como unidade funcional - definido pelas e implícito nas pesquisas da genética mendeliana - e a visão molecular clássica do gene, como unidade estrutural, apresentam dificuldades de concordância uma com a outra. O próprio sucesso da pesquisa molecular das últimas décadas trouxe (e vem trazendo) à tona uma série de descobertas que

dificultaram progressivamente a conceitualização clara e precisa do termo gene. Diante destas dificuldades, o conceito de gene se tornou um tópico importante da filosofia da biologia e sua discussão vem ganhando cada vez mais espaço e contribuições.

Dada a relevância do tema na filosofia da biologia, as pesquisas acerca das concepções de estudantes sobre a natureza das ciências são de grande importância para o aprimoramento do ensino. Diante da crise do conceito de gene, quais as providências que devemos tomar no ensino? Qual a visão dos alunos sobre genes e o que ela representa? Quais as consequências desta crise para o ensino de biologia celular/molecular e genética?

4.1 Desenvolvimento histórico do conceito de Gene

Para contextualizar o estudo empírico sobre o conceito de gene entre os estudantes, faz-se necessária uma análise da visão de diversos cientistas e autores ao longo do tempo. Não foi pretendido fazer no presente trabalho uma revisão histórica completa e detalhada, mas um apanhado histórico breve, com o intuito de situar o problema investigado.

4.1.1 Pré-história do gene: a natureza da hereditariedade

O século XX pode ser considerado o século do gene (KELLER 2000); entretanto, foi no século XIX que a hereditariedade se tornou um dos principais problemas tratados na biologia. Com a ascensão do interesse pela hereditariedade como uma área de pesquisa biológica, as questões sobre o material hereditário básico e seus mecanismos tomaram forma.

Intuitivamente, todos aqueles que se debruçavam sobre o estudo da natureza sentiam que havia certo conflito, ou contradição, entre os fatos da hereditariedade e os fatos da variação (MAYR 1998). A hereditariedade implica continuidade, estabilidade, enquanto a variação implica mudança, instabilidade, mutabilidade.

Por que os filhos se parecem com os pais e avós? Quais são os mecanismos que transmitem as características? São perguntas que a humanidade já se fazia há um longo tempo, desde a antiguidade clássica, mas foi na infância da biologia

experimental, no fim do século XIX, que hipóteses sobre a questão da estabilidade começaram a tomar formas significativas.

“Se a revolução mendeliana marcou o ponto de vista da biologia do século XX, então certamente a revolução darwiniana foi a grande vertente do século XIX” (KELLER 2000). Porém, Darwin e Wallace, através da teoria da evolução por seleção natural, explicaram muito sobre a mudança da forma e da função biológica, mas a explicação da estabilidade, ou seja, da persistência de características de geração a geração, foi campo de estudo dos herdeiros de Mendel.

A teoria darwiniana da evolução se preocupava com as mudanças ao longo do tempo e das gerações. Sintomaticamente, Darwin dedicou os dois primeiros capítulos de “*Origins of the species*” para discutir a questão da variação: “*Variation under domestication*” e “*Variation under nature*” (DARWIN 1859). A hereditariedade como tal e as suas leis eram de um interesse muito menos imediato para Darwin do que a variação e as suas causas (MAYR 1998) e, assim, os mecanismos de conservação escapavam ao seu entendimento. A tarefa de pesquisar as leis de constância ficou para depois. Na verdade, o século do gene se inicia com essa tarefa (KELLER 2000). Como entender a fidelidade dos traços individuais através das gerações ficou para o século XX.

Entretanto, vale lembrar que, para a teoria da seleção natural, uma variação não-hereditária não tem importância, ou seja, a questão da variação está invariavelmente ligada à questão da estabilidade. Foi preciso esperar pelo seu “*Variation of Animals and Plants under Domestication*” (1868) para que Darwin publicasse suas idéias sobre a hereditariedade, na forma da sua hipótese da pangênese (MAYR 1998).

Antes de explicar a pangênese e demais teorias acerca da hereditariedade, é necessário ressaltar o porquê desta discussão. Por trás da origem da palavra ‘gene’, estava a suposição de que, para cada característica individual, há um elemento hereditário estável, ou seja, a busca de uma explicação para a constância dos traços individuais induziu o surgimento do conceito de gene. Neste sentido, as questões referentes à estabilidade são pontos-chave no panorama histórico do gene.

Um componente essencial desse conceito, eu afirmo, entra na história da genética mesmo antes que a palavra gene fosse inventada, e entra com a suposição de que, subjacente a cada característica individual, há um elemento hereditário tão estável que sua estabilidade pode explicar a confiabilidade com a qual tais características são transmitidas através das gerações. Em outras palavras, o problema da estabilidade de características foi resolvido supondo-se a existência de uma unidade inerentemente estável, potencialmente imortal, que poderia ser transmitida intacta através das gerações (KELLER 2000).

Em 1868, em sua teoria da pangenese, Darwin propôs a existência de gêmulas. Segundo esta teoria, as gêmulas seriam partículas individualmente diferentes, responsáveis pela transmissão das características hereditárias. Todos os tipos de células do organismo seriam representados por estas partículas. O mosaico de características dos híbridos seria devido à mistura das gêmulas parentais. E os fatos da reversão às características ancestrais, fenômeno que fascinava grandemente Darwin, seria devido à ativação de gêmulas anteriormente em repouso (MAYR 1998). As várias regiões do corpo enviariam partículas representativas (gêmulas) para compor as células sexuais (gametas) e as gêmulas circulariam pelo corpo e seriam acumuladas nos órgãos sexuais ou botões das plantas:

“A idéia mais antiga talvez seja a de que os genes em si mesmos eram pedras do edifício do organismo. A teoria das gêmulas de Darwin talvez seja a que mais se aproxima dessa posição. Ela foi de alguma maneira modificada por de Vries (1889), quando postulou que os pangenes passam do núcleo para o protoplasma das células, as quais constituem as pedras da construção dos tecidos e órgãos de que se compõe um organismo” (MAYR 1998).

O primeiro autor não apenas a formular essas questões de modo claro e inequívoco, mas também a dar-lhes respostas decisivas foi August Weismann (MAYR 2000). Na tentativa de explicar o mecanismo pelo qual uma única célula reproduz as características da célula parental, Weismann (1834-1914) supôs a existência de elementos determinantes, ou seja, elementos particulados auto-reprodutores, os quais determinariam as propriedades de um organismo. Além de propor a existência de unidades elementares de hereditariedade, Weismann tentou explicar a fidelidade da hereditariedade, propondo que os elementos responsáveis teriam origem em uma substância que possuía uma composição molecular definida. Ele denominou essa substância de “plasma germinal” e afirmou que um plasma germinal, isolado dos efeitos destrutivos da mortalidade individual, podia ser transferido, intacto, de uma geração a outra. (KELLER 2000).

Hugo de Vries (1848-1935) – botânico holandês – também sugeriu a existência de unidades elementares de hereditariedade, as quais migrariam do

núcleo para o citoplasma, determinando assim o caráter das respectivas células. De Vries chamou estas unidades de pangenes. Para ele, cada partícula representava uma característica hereditária:

É fora de dúvida que a teoria genética de De Vries está mais próxima dos conceitos atuais do que qualquer outra que a precedeu. Entretanto, duas das suas suposições básicas eram decisivamente falsas: a de que os próprios pangenes passa do núcleo para o citoplasma, e a de que um determinado pangene podia existir no núcleo em réplicas múltiplas. Ele imaginava que ali estivesse a explicação para a dominância e para os caracteres quantitativos (MAYR 1998).

Segundo Keller (2000), esses primeiros pensadores da hereditariedade compartilhavam a idéia de que, assim como os átomos e as moléculas forneciam as unidades fundamentais de explicação na física e na química, unidades elementares de hereditariedade seriam as unidades fundamentais das explicações biológicas:

Costuma-se dizer também que a ciência é ávida de unidade, que tende a considerar fenômenos de aspectos diversos como idênticos, que busca simplicidade ou economia nos princípios e nos métodos. Tal unidade seria logo encontrada se a ciência pudesse contentar-se com isso. Ao inverso, o progresso científico efetua suas etapas mais marcantes quando abandona de fatores filosóficos de unificação fácil (BACHELARD 1996).

O século XIX terminou sem nenhum estudioso da hereditariedade conseguir explicar o que aquelas unidades poderiam ser, mas poucos tinham dúvidas de que estes elementos forneceriam à biologia uma nova rota na viagem de descobrimento. A biologia experimental estava ainda em sua infância no fim do século XIX e Weissmann não tinha como saber o que esses elementos hereditários poderiam ser. Nem o tinha de Vries, ou qualquer outro estudioso da hereditariedade daquela época (KELLER 2000). Em 1900, a redescoberta das regras de herança de Mendel marcou a história desta viagem. Vale ressaltar a importância deste período, que terminou por ser indispensável para o desenvolvimento da genética. “Ao final deste período, quase todas as alternativas possíveis haviam sido propostas e o terreno estava preparado para os novos conhecimentos e as novas descobertas que permitiram escolhas inequívocas entre teorias concorrentes. Tal evento decisivo foi a redescoberta da obra de Mendel” (MAYR 1998).

Em 1865, Gregor Mendel, através de seus cruzamentos de ervilhas, forneceu apoio a hipótese da existência de “elementos” – ele assim os chamou - individuais e auto-replicáveis, responsáveis pelo aparecimento de características hereditárias (HAUSMANN 1997):

Sem qualquer conhecimento da citologia cromossômica, sem as análises teóricas de Weismann, e sem o benefício de muitas outras descobertas seminais feitas entre 1865 e 1900, Mendel descobriu uma nova maneira de abordar os fenômenos da hereditariedade, debruçou-se sobre o comportamento dos caracteres únicos e utilizou esses conhecimentos para chegar a generalizações abrangentes. Sua realização foi uma das mais brilhantes de toda a história da ciência (MAYR 1998).

Entretanto, o problema central de Mendel dizia respeito à origem de ‘espécies’ novas por hibridação, e não prioritariamente à herança. Ainda assim, ele introduziu conceitos fundamentais e investigou leis, mais tarde chamadas “Leis de Mendel”, que tiveram papel central no desenvolvimento da genética. No entanto, Pablo Lorenzano afirma, neste sentido, que Mendel não foi o “fundador da genética”, já que: 1) o problema que enfrentou não foi o da herança, mas o da hibridação, 2) os conceitos que introduziu para sua solução não são os mesmos posteriormente utilizados pela genética clássica, 3) a lei que propôs sobre a formação e o desenvolvimento dos híbridos não é idêntica às mais tarde chamadas “leis de Mendel”, 4) além disso, ele propôs mecanismos que não são encontrados na genética clássica. (comunicação pessoal, por ocasião de curso de História da genética, na UFPR).

As histórias da Genética Clássica e da Genética Molecular são longas, ricas e bem documentadas por diversos historiadores da biologia. Pretende-se aqui traçar um breve resumo desta fase histórica da genética reunindo os pensamentos de alguns dos principais autores.

4.1.2 Genética Mendeliana Clássica

“Mendel (1865) funda a genética (“clássica”, “formal” ou “mendeliana”) quando, ao intentar resolver o problema da herança, introduz seus conceitos fundamentais e propõe as leis, mais tarde chamadas “leis de Mendel”(LORENZANO sd)

Os sucessos da genética clássica foram documentados por diversos historiadores da biologia. Podemos resumi-los, em linhas gerais, da seguinte forma: após a origem com os trabalhos de Mendel, a Genética, como se sabe, passou pelos chamados “redescobridores”, Carl Correns, Hugo de Vries e Erich Tschermak, os quais projetaram sobre o trabalho de Mendel sua própria problemática e conceitos.

William Bateson traduziu o trabalho de Mendel de 1865 para o inglês e foi o criador do termo “genética”. O desenvolvimento teórico de Bateson e colaboradores, conhecido como “mendelismo”, promoveu mudanças conceituais e metodológicas no estudo da herança.

A história da genética clássica se divide em dois períodos, de acordo com Mayr (1998): O primeiro período, designado mendelismo, que se estendeu, para este autor, dos anos 1900 até mais ou menos 1909, e um segundo período a partir de 1910. De Vries, Bateson e Johannsen tiveram grande importância no primeiro período:

O termo “mendelismo” envolve sentidos diferentes, conforme a diversidade dos pontos de vista, dependendo do aspecto que se queira enfatizar esta doutrina. Para os membros do estado-maior da genética, ele se refere ao período em que se consolidou a hereditariedade particularizada e em que o seu caráter sólido recebeu a devida ênfase. Para os evolucionistas, ele significou um período em que os genetiistas mais eminentes promulgaram idéias completamente erradas sobre a evolução e a especiação, e durante o qual as pressões da mutação foram consideradas muito mais importantes que a seleção, idéia essas que acabaram por desprestigiar os naturalistas (Mayr 1998. p. 816).

O segundo período, que teria começado em 1910, tendo sido dominado pela escola de Morgan, se ocupou de modo muito mais intenso com problemas puramente genéticos (MAYR 1998).

“Na genética mendeliana, o gene é identificado pelo caráter ou traço determinado por ele. Mendel lidou com organismos diplóides, de reprodução sexuada. Para ele os genes, ou melhor os “fatores pares”, existiriam em duas formas alternativas, uma dominante e a outra recessiva, cada uma determinando um estado do caráter. (...) A genética clássica inclui conceitos citológicos e tem uma abrangência muito maior que a genética mendeliana. Os genes seriam as unidades de herança, dispostas linearmente nos cromossomos. A definição de gene passa a considerar diferentes aspectos: é uma unidade de posição no cromossomo (confunde-se assim com a noção de locus); é também uma unidade de função, isso é algo que determina um caráter ou traço hereditário. Como diz Hull (1975, p. 35), tanto a posição quanto a função são necessários para se identificar um gene.” (MAGALHÃES & KRAUSE).

O trabalho científico de T.H. Morgan o conduziu (junto com seus discípulos A.H. Sturtevant, C.B. Bridges e H.J. Muller – mais tarde conhecidos como “o grupo da *Drosophila*”) a desenvolver a chamada genética clássica e a teoria cromossômica da herança mendeliana. Além de detalhados mapas cromossômicos da *Drosophila melanogaster*, muitos estudos relacionados a estruturas cromossômicas e a expressão gênica foram realizados. Por exemplo, “... deve-se a escola de Morgan à observação dos efeitos de posição, isto é: a atividade dos genes pode ser alterada dependendo de sua posição no cromossomo (...), a demonstração da atividade

metabólica de certos genes, em momentos determinados, e as alterações estruturais nos cromossomos gigantes das larvas *Drosophila* (...) Entretanto, a verdadeira ação dos genes, passível de ser descrita bioquimicamente, ainda era totalmente desconhecida” (HAUSMANN 1997). Morgan considerava a idéia de que os genes seriam os agentes causais do desenvolvimento, segundo ele “A teoria do gene é justificada sem se tentar explicar a natureza dos processos causais que conectam os genes às características.” (MORGAN, 1928 citado em KELLER 2000).

Em 1909, W. L. Johannsen notou a necessidade de um termo para designar o potencial para um traço e abreviou o termo pangene de De Vries, propondo, assim, o termo ‘gene’ para designar os “fatores” hereditários de Mendel (Moss, 2001; Keller, 2000; Falk, 1986, Mayr 1998). . Ele distinguiu duas idéias presentes em um termo de largo uso na época, ‘unit character’; a de potencial para o traço e o próprio traço. Para o potencial, propôs o termo gene, sendo o genótipo o conjunto dos genes.

Apesar disto, inevitavelmente, suas idéias motivaram a comunidade de geneticistas a se interrogar sobre a realidade e natureza deste algo que estaria presente nos gametas e no zigoto. E foi nesta direção que a história do gene deu um passo à frente, com a idéia de que os genes eram moléculas tornando-se dominante na primeira metade do século XX. “O termo ‘gene’, de Johannsen, foi logo universalmente aceito porque satisfazia a grande necessidade de um termo técnico para designar a unidade da hereditariedade.” (MAYR 1998).

A idéia inicial de genes como unidades invisíveis e submicroscópicas da hereditariedade, gradualmente, cedia espaço para a busca da compreensão da natureza do gene. A visão do gene como uma entidade material foi ganhando cada vez mais adeptos e colaboradores.

Herman J. Muller foi um dos principais defensores da interpretação material do gene. Para ele, os genes poderiam ser analisados em sua natureza físico-química e ele mesmo deu os primeiros passos nesta direção, mostrando que raios-X causavam mutações genéticas (HAUSMANN 1997). A analogia com as unidades fundamentais da física e da química já era uma idéia muito recorrente no início do século XX e Muller era um dos que apoiava a visão de semelhança entre os

problemas da física e da biologia. Ele também não foi capaz de responder o que exatamente era um gene, mas ajudou a abrir o caminho para novos avanços na compreensão da natureza do gene: “Muller e seus colegas tinham apenas suas expectativas. Ainda assim, eles eram sustentados pela confiança de que a solução deste problema da função do gene seria encontrada na estrutura molecular da constituição química do gene” (KELLER 2000).

Ao longo do desenvolvimento da genética clássica, tornou-se um consenso a idéia de que os genes se localizavam nos cromossomos. Os genes passaram a ser tratados como segmentos de cromossomos dispostos linearmente como contas de um colar. Com algumas exceções, os cromossomos existem aos pares, cujos membros são homólogos entre si. A visão do genótipo como ‘saco de feijões’, ou seja, o tratamento de cada gene como se fosse independente em suas ações e quanto aos efeitos da seleção, predominou na genética clássica. (MAYR 1998) O gene era entendido inicialmente como uma unidade de função, de mutação e de recombinação, mas foi eventualmente mostrado que genes não são unidades nem de recombinação nem de mutação. Assim, terminou por prevalecer a idéia de que o gene seria uma unidade de função (EL-HANI 2005). É neste contexto que surgiram novas dúvidas sobre o conceito de gene. Como determinar o segmento exato do cromossomo que conta como um gene? E depois de identificado o segmento, quais funções seriam realizadas por aquele “gene”?

Os problemas da genética, neste momento, pareciam estar direcionados para o mesmo ponto. Qual a estrutura do gene? Que tipo de molécula seria tais capacidades? Este foi um período de muitas dúvidas e poucas respostas. “Uma grande virtude do discurso sobre a ação gênica foi que ele permitiu que os geneticistas prosseguissem com suas pesquisas tão produtivamente, e por tanto tempo, sem sequer um lampejo no horizonte que sugerisse uma resposta de como os genes agem” (KELLER 2000).

4.1.3 Genética Molecular

Um novo passo foi dado na busca de idéias inovadoras com a formulação da hipótese “um gene-uma enzima”, por George Beadle e Edward Tatum. O desenvolvido com *Neurospora*, mostrava que os genes controlam reações bioquímicas. Mas nem Beadle nem Tatum tinham qualquer noção dos meios físicos ou químicos pelos quais tal controle poderia ocorrer (KELLER 2000).

No decorrer da história da genética, o conceito de gene foi gradativamente se tornando estrutural, até o ponto em que foi formulado um conceito inteiramente molecular. Desde o início do séc XX, houve um lento, mas constante, avanço na compreensão do gene e na determinação de sua estrutura química.

A estrutura de dupla hélice do DNA não só deu força à hipótese um gene – uma enzima, como também lhe deu um novo sentido. Surgiu a hipótese de que a seqüência precisa das bases nucleotídicas constituiria o código que transporta a informação genética e, portanto, a seqüência de nucleotídeos em um gene e a seqüência de amino-ácidos possuiriam algum tipo de correspondência, conforme foi estabelecido mais tarde com a elucidação do código genético. O que realmente deu força à hipótese um gene – uma enzima e, assim, à noção de ação gênica foi a identificação do material genético com o DNA e, em 1953, a proposição do modelo do DNA em dupla-hélice. (KELLER 2000). Hausmann (1997) chega a afirmar que o esclarecimento da estrutura helicoidal dupla do DNA é sem dúvida a descoberta mais significativa da história da biologia.

A estrutura proposta por eles fornecia as bases para um mecanismo que explicava, em princípio, tanto a autoduplicação quanto a estabilidade do gene (fidelidade da cópia). O modelo da dupla hélice, com pareamento complementar de bases, era compatível com todos os requisitos conceituais que a genética clássica havia estabelecido para o gene (KELLER 2000).

O modelo Watson-Crick da estrutura do DNA consolidou a visão do gene como um objeto material. A estrutura proposta por eles fornecia um mecanismo que explicava tanto a autoduplicação quanto a estabilidade do gene (fidelidade da cópia). O modelo da dupla hélice com pareamento complementar de bases era compatível com todos os pré-requisitos conceituais que a genética clássica estabelecia para o

gene. Com este modelo, a visão realista sobressaiu sobre a visão instrumentalista do gene, e formulou-se o “conceito molecular clássico do gene”, de acordo com o qual o gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, seja uma cadeia polipeptídica ou uma molécula de RNA. (EL-HANI 2005, KELLER 2000, FALK 1986)

Após a proposta do modelo da dupla hélice e da emergência da biologia molecular, o gene passou a ser tratado também como uma unidade estrutural. Falk, em 1986, afirmou que o gene não é a unidade material ou a unidade instrumental de herança, mas uma unidade, um segmento que corresponde a uma unidade de função definida pela necessidade do especialista (FALK, 1986). Finalmente, a introdução de um vocabulário informacional na biologia molecular e genética resultou na chamada ‘falação da informação’ (information talk) (EL-HANI 2005). O mecanismo funcional que o modelo da dupla hélice sugeriu acabou por dar aos genes a noção de unidades informacionais. A informação (information talk) tem sido amplamente discutida por diversos autores. (ver GRIFFITHS 2001)

O progresso da biologia molecular foi veloz. Uma série de novas descobertas foi mostrando que a estrutura material do gene é mais complexa do que se poderia imaginar; e a dúvida conceitual permaneceu: O que afinal é um gene?

Francis Crick formulou em 1957 o dogma central da genética: DNA faz RNA, RNA faz proteínas e proteínas fazem os seres vivos. Este modelo básico de como os genes atuam ofereceu um quadro satisfatório para a genética, mas por pouco tempo. Não demorou muito para que a pesquisa acrescentasse uma série de detalhes, aumentando a complexidade do dogma, especialmente pelo maior estudo da genética de eucariotos. Por trás de cada detalhe, estava uma bem sucedida pesquisa molecular que aumentava nosso conhecimento sobre o material genético e complicava o entendimento da estrutura e dos limites moleculares.

As complexidades geradas pelos novos dados são inúmeras e seria, portanto, impossível discutir todas. O que se pretende fazer aqui é apresentar alguns dos principais fatores responsáveis pela crise do conceito de gene, selecionados a partir da bibliografia analisada.

Segundo Falk (1986), a descoberta dos transposons (segmentos de inserção que carregam um ou mais genes) teve dificuldade em ser aceita pela comunidade científica exatamente por desafiar a estabilidade do modelo de Watson e Crick. Entre outros fatores desafiadores, estão: a identificação de genes segmentados, genes repetidos, genes superpostos, DNA críptico, transcrição reversa, genes nidados, promotores múltiplos (permitindo que a transcrição se inicie em locais alternativos e de acordo com critérios variáveis) (KELLER 2000).

Para Fogle (1990), foi na tentativa de preservar a idéia de genes como unidades de estruturas e/ ou função (ou, ainda, de informação) que levou aos dois aspectos principais da crise do conceito gene, agora largamente reconhecida (1) a proliferação de significados atribuídos ao termo gene e (2) a dificuldade de acomodar a complexibilidade e diversidade da arquitetura genética, principalmente no conceito molecular clássico. (EL-HANI 2005)

Os problemas com a visão do gene como unidade estrutural tiveram início em 1961, quando Jacob e Monod propuseram o modelo operon, que trazia em seu bojo uma distinção entre genes estruturais e regulatórios. (FALK 1986, FOGLE 1990, KELLER 2000, EL-HANI 2005). A análise bioquímica de Jacob e Monod revelou que os genes além de codificarem para a síntese protéica (genes estruturais), também têm atividade regulatória (genes reguladores), ou seja, que controlam o ritmo de transcrição de certos genes estruturais específicos. Vale ressaltar que Jacob e Monod não se pronunciaram contra o modelo clássico, porque os genes reguladores estão envolvidos na síntese protéica e poderiam ser unidades funcionais e estruturais; entretanto, o modelo do operon levantou as primeiras dificuldades. Afinal, como identificar tais regiões? A unidade era cada gene, ou a unidade seria o conjunto de genes estruturais e regulatórios que atuam em conjunto?

Estas regiões têm funções, são herdáveis, sofrem mutações e influenciam o genótipo, mas, apesar de compartilharem tantas propriedades com as unidades genéticas, não são consideradas genes. A razão reside apenas no fato de que elas não são transcritas. Assim, elas foram chamadas de 'região' operadora e 'sítio' promotor. (...) Em particular, como se poderia justificar o sistema diádico de unidades' (genes) e 'não unidades' (sítios funcionais não-transcritos, DNA repetitivo etc.) diante do compartilhamento de tantas propriedades por estas duas categorias? (EL-HANI 2005)

A partir do momento em que a genética soube da existência de elementos regulatórios, a pesquisa mostrou que regulação gênica era ainda mais complexa.

Em resumo, no início, o conceito de gene molecular era baseado em uma estrutura bem definida, com começo e fim, e uma função singular. O avanço científico levou a descobertas ameaçadoras, embora as primeiras dificuldades tenham sido assimiladas. Por exemplo:

“As descobertas de que alguns segmentos de DNA são transcritos, mas não traduzidos (genes de rRNAs, tRNAs etc.), e outros não são sequer transcritos, apesar de guardarem grande semelhança com regiões transcritas (pseudogenes), não parecem afetar, a princípio, aquele conceito. Foi igualmente fácil ajustar a compreensão da estrutura e funções gênicas para acomodar a descoberta de que proteínas podem ser compostas por vários polipeptídeos de origem independente. Similarmente, não houve dificuldade na extensão do conceito de gene para acomodar a diferença entre genes estruturais e regulatórios”. (EL-HANI 2005)

“Uma pedra ainda maior foi atirada nas engrenagens do conceito de gene no fim dos anos 1970, quando Richard Roberts e Philip Sharp em 1970 descobriram os genes partidos” (KELLER 2000). Ao contrário do que era conhecido em bactérias, muitos genes de organismos eucariontes não são contínuos, e sim segmentados. Nestes organismos, foram identificados segmentos codificadores de DNA entremeados por longas seqüências não-codificadoras. Estas seqüências que não codificam são os íntrons, enquanto os éxons são segmentos do DNA que podem estar representados no RNA maduro. O geneticista sul-coreano Susumo Ohno criou o termo DNA-lixo, com conotações pejorativas, para se referir ao DNA intrônico que é eliminado. As possíveis funções deste DNA lixo vem sendo recentemente estudada e discutida na imprensa científica.

O que interessa discutir aqui são as conseqüências desta descoberta para o conceito de gene. Após remoção desta seqüência lixo, os éxons remanescentes são então emendados; entretanto, esta emenda pode ocorrer de maneiras diferentes, sendo chamada de emenda alternativa (*splicing alternativo*). Diferentes transcritos de RNA, por sua vez, levam à síntese de proteínas diferentes. Muitos segmentos extensos – íntrons – são extirpados antes da tradução. Assim, o conceito de gene como o segmento de DNA que determina uma função perdeu parte de sua credibilidade (FALK 1986). A pesquisa não parou por aqui e, conseqüentemente, as complicações também não, como por exemplo:

Para complicar ainda mais, a própria distinção entre íntrons e éxons parece não ser fixa. Em alguns casos, demonstrou-se que a síntese de ainda outras proteínas pode derivar de seqüências de DNA intrônico – isto é, de regiões que originalmente eram atribuídas à pilha de DNA lixo, mas, como sabemos agora, equivocadamente (...) Além do mais, a emenda alternativa não é a única maneira pela qual a variação pode ser gerada a partir de RNA mensageiro. Transcritos de RNA são também sujeitos a uma variedade de outros tipos de edição, igualmente sistemáticos e bem regulados.” (KELLER 2000)

A descoberta de maneiras complexas de edição do RNA, entre outras, trouxe ainda mais dificuldades para hipóteses simples sobre a relação entre genes e suas funções. A relação que se pode empregar é a mais abrangente possível, ou seja, ‘um gene pode fazer muitas proteínas diferentes’, mas mesmo assim é difícil sustentar a idéia de gene como unidade funcional. Para Keller (2000), o problema com essa formulação é que o gene perde grande parte tanto da sua especificidade quanto do seu poder de agência.

Tornou-se claro que genes não são discretos – há genes superpostos e nidados –, nem contínuos – há íntrons dentro dos genes; eles não têm necessariamente uma localização constante – há transposons –, nem uma função claramente definida – há pseudogenes; eles não são unidades nem de função – há genes que sofrem *splicing* alternativo, genes que codificam proteínas multifuncionais, e uma forte dependência da ação gênica em relação aos contextos celular e supracelular –, nem de estrutura – há muitos tipos de seqüências *cis*-atuantes que influenciam a transcrição, genes interrompidos etc. Quando há tantos problemas com as propriedades utilizadas para definir um conceito, é bastante natural perguntar o que, afinal de contas, é a entidade que está sendo definida. (EL-HANI 2005).

4.2 Como entender o que é um gene apesar da crise do conceito? O gene contemporâneo.

Atualmente, não é mais possível entender genes como unidades: “Quando ouvimos os modos pelos quais o termo é hoje usado pelos biólogos em atividade, descobrimos que o gene se tornou muitas coisas - não mais uma única entidade, mas uma palavra de grande plasticidade, definida somente pelo contexto experimental específico no qual é utilizada”.(KELLER 2000). Neste contexto, diversas reações ao problema do gene surgiram.

Alguns autores argumentam até mesmo contra a manutenção do termo gene. PORTIN (1993, citado por HOLDREGE, 2005) sugere que nosso conhecimento da estrutura do material genético extrapolou a terminologia tradicionalmente usada para descrevê-lo. É duvidoso se o antigo termo gene, essencial nos primeiros

estágios de análise, é ainda útil, exceto com uma expressão acessível e versátil, cujo significado é determinado pelo contexto. GELBART (1998, apud HOLDREGE, 2005) concorda ao afirmar:

“A importância central do gene como uma unidade de herança e função foi crucial para o nosso entendimento de muitos fenômenos biológicos. Apesar disto, nós podemos ter chegado a um ponto em que o uso do termo ‘gene’ passou a possuir um valor limitado e pode, de fato, ser prejudicial para nossa compreensão do genoma. Apesar desta visão parecer herética, ela reflete o fato de que, ao contrário dos cromossomos, genes não são objetos físicos, mas são meramente conceitos que adquiriram grande bagagem histórica nas últimas décadas”.

O problema em descartar o uso do termo gene é que ele está incrustado tanto no discurso científico quanto no leigo, ou seja, está presente tanto na comunidade científica e nas salas de aula quanto na sociedade, nas políticas governamentais e na opinião pública. Neste sentido, diversos autores propõem salvá-lo, ao invés de abandoná-lo. Alguns autores apostam no esclarecimento da diversidade de significados do conceito de gene, a fim de reformulá-lo. KELLER (2000) chega a propor o abandono do uso do conceito, alegando que o termo ‘gene’ se tornou um obstáculo a sua exposição, entretanto, em 2005, a autora propõe uma redefinição do gene, a partir da idéia que o termo não deve levar em conta a idéia antiga de genes como unidades básicas.

Na tentativa de salvar o conceito de gene, Lenny Moss (2003) tem, recentemente, argumentado que tanto a concepção histórica quanto a atual do gene usa duas diferentes maneiras de classificação das seqüências de DNA, as quais ele chamou de Gene-P (o gene como determinante de fenótipos ou diferenças fenotípicas) e Gene-D (o gene como recurso para o desenvolvimento). Vale ressaltar, entretanto, que Moss adverte que a confusão entre as duas leva ao determinismo genético, e, portanto, deve ser evitada.

A distinção entre gene-P e gene-D pode cumprir um papel importante na tentativa de salvar o conceito de gene. El-Hani (2005) sugere uma aplicação pedagógica das idéias de Moss. Para ele, a distinção entre gene-P e gene-D pode ensinar aos estudantes como diferenciar entre o uso de genes como ferramentas epistêmicas para a predição de fenótipo ou diferenças fenotípicas (gene-P) e visões mais realistas de genes como recursos, entre muitos outros, para desenvolvimento orgânico (gene-D). O ensino esclarecedor desta distinção pode desafiar as noções

clássicas de determinismo genético na sala de aula e, conseqüentemente, na imaginação popular.

A idéia de Gene-P, superficialmente, parece uma idéia puramente Mendeliana; porém, uma entidade molecular pode ser tratada como Gene-P. Quando falamos no “gene do albinismo”, por exemplo, esta é a noção que estamos empregando, porque o gene-P é definido com base na sua capacidade de predizer o resultado fenotípico (no caso, o albinismo).

O Gene-D é um recurso para o desenvolvimento, o qual não é determinado pelo resultado fenotípico final. É definido pela sua seqüência molecular e, conseqüentemente, pelo seu funcionamento, isto é, como gene estrutural ou regulador, somente ligado ao fenótipo de maneira indireta, isto é, atuando no conjunto de um sistema genético-bioquímico. (STOTZ ET AL 2004).

Ensinar aos estudantes como diferenciar entre o uso de genes como ferramentas para predição do resultado fenotípico final (Gene-P) e visões com ênfase na seqüência molecular (gene-D) pode ser uma alternativa de ensino esclarecedora e desfavorável à visão determinista genética em sala de aula.

4.3 Como ensinar sobre genes? Qual a situação da aprendizagem sobre genes em meio à crise do conceito?

Os avanços recentes em ciências e tecnologia ocupam pouco espaço na sala de aula. Porém, com o avanço da engenharia genética e com as atuais pesquisas neste campo, é inadmissível que os estudantes estejam alheios aos avanços científicos recentes nestas áreas, sendo papel do ensino de genética proporcionar oportunidades para discussão destes assuntos. A abordagem destes temas em sala de aula se torna ainda mais importante quando o próprio progresso da ciência traz mudanças para o significado de ameaça um conceito central da biologia, e conseqüentemente do ensino de biologia.

A necessidade da abordagem de temas científicos recentes na educação em genética é agravada pelo fato da presença destes assuntos na mídia e, conseqüentemente, no cotidiano. É, mais uma vez, responsabilidade do ensino

orientar para a compreensão e correta avaliação do “discurso sobre genes” (termo de Keller 2000) nos dias atuais.

Neste sentido, o ensino em biologia – em particular, no que diz respeito aos conceitos da biologia celular/molecular e genética - necessita de algumas mudanças, em especial, devido às complicações apresentadas acima para conceituar o que é um gene. É necessário que a crise do conceito, amplamente discutida na literatura filosófica e de biologia teórica, seja estendida para as salas de aula.

Diante da crise, faz-se necessária a análise da situação atual do conceito de gene no ensino de Biologia, em todos os seus níveis. El-Hani (2005) sugere alguns caminhos para uma possível mudança:

Primeiro, é importante introduzir no ensino o reconhecimento de conceitos de gene utilizados em diferentes áreas, atentando para a importância de delimitar os domínios de aplicação de cada conceito. A distinção entre gene-P e gene-D (Moss 2001, 2003), em particular, pode cumprir um papel importante. (...) Outro aspecto importante reside na discussão sobre o estatuto de “gene” como conceito teórico, mostrando-se útil discutir – talvez somente no Ensino Superior - a possibilidade de uma visão instrumentalista, em contraste com visões realistas de conceitos teóricos.

Muitos biólogos teóricos e filósofos da biologia têm se dedicado à análise da situação do conceito de gene no pensamento biológico e, alguns, no ensino de biologia. Cabe ao estudo conceitual analisar o que os diferentes pesquisadores e estudantes falam e fazem. Uma maneira de vislumbrar uma melhoria no ensino de biologia é entender a situação atual, perguntando diretamente ao aluno o que ele sabe. A verificação de convergência ou divergência entre o tratamento do conceito de gene na sala de aula e na filosofia da biologia tornará possível uma crítica filosoficamente informada ao modo como este conceito vem sendo trabalhado no ensino de biologia.

5- MATERIAL E MÉTODOS

No estudo teórico, a metodologia consistiu em levantamento bibliográfico sobre o conceito de gene e assuntos relacionados, de modo a considerar tanto aspectos históricos quanto atuais dos debates sobre o conceito de gene, nas áreas de genética, biologia molecular/celular, filosofia da biologia, biologia teórica, história da biologia e ensino de biologia.

A metodologia empregada para a coleta dos dados necessários para o desenvolvimento do projeto envolve aplicação de questionários desenvolvidos por Charbel El-Hani e aplicados na UFBA e UFPR. O público alvo é a comunidade de alunos do curso de Biologia UFPR. A amostra de alunos foi construída de 60 alunos, 28 que não cursaram genética e 32 que cursaram as duas disciplinas obrigatórias de genética do currículo da UFPR. O tempo necessário para preencher o questionário era de 20 a 30 minutos.

Os questionários foram aplicados com o consentimento informado dos participantes, a confidencialidade das informações foi garantida previamente.

5.1. Questionários

O questionário possui três sessões, a primeira é designada para determinar dados gerais do participante. A segunda contém questões abertas sobre conceito de gene e conceito relacionados. A terceira sessão contém duas questões fechadas sobre as diferentes concepções de gene, ambas as questões possuem as mesmas alternativas. Na questão 1C é solicitado para o aluno escolher apenas uma das opções, na 2C a escolha é livre, podendo o estudante marcar quantas alternativas desejar. As questões 6B, 7B e 8B investigam o conceito de informação dos estudantes e não foram analisadas no presente trabalho, foram pesquisadas com o intuito de constituírem dados para projetos posteriores, sobre conceitos relacionados ao termo gene.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA

PROJETO: Visões de alunos da graduação em ciências biológicas da UFPR sobre genes e informação.

Estamos interessados em compreender as visões de alunos da graduação em ciências biológicas da UFPR acerca de algumas questões sobre a ciência em geral e, em particular, sobre conceitos centrais em suas áreas, como o de gene. A sua colaboração é fundamental para que possamos alcançar o resultado pretendido neste projeto, a saber, compreender melhor como estudantes de graduação têm pensado sobre conceitos importantes neste campo do conhecimento e, além disso, contribuir para o aprimoramento do ensino da genética com os resultados de nosso trabalho.

Nós nos comprometemos com a garantia da confidencialidade das respostas e com o sigilo dos dados que serão armazenados e analisados em bases nas quais os nomes e respectivas instituições de afiliação dos respondentes não serão incluídos. Os resultados serão apresentados de maneira estatística e geral, sem qualquer pista da identidade dos respondentes do questionário. Esta investigação não oferece qualquer risco para os alunos que participarem, uma vez que não se fará qualquer vinculação entre as respostas dadas e a identidade pessoal dos respondentes. Somente os pesquisadores da equipe de pesquisa terão acesso às respostas dadas pelos sujeitos da pesquisa. Não há qualquer obrigatoriedade de sua participação e, se quando estiver respondendo, você resolver desistir, que não haverá qualquer consequência para você. Além disso, a sua participação na pesquisa não envolverá qualquer despesa de sua parte. Os dados coletados serão usados somente para a pesquisa mencionada acima.

Se você concorda em participar, por favor, escreva o seu endereço eletrônico no campo abaixo indicado. Isto será considerado como prova de sua concordância.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani (Co-orientador, Doutor Departamento de Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia).

Prof. Dr. João Carlos Magalhães (Orientador, Doutor, Setor de Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Universidade Federal do Paraná)

Leyla Mariane Joaquim (Orientada, Graduanda, Departamento de Genética, Universidade Federal do Paraná)

Nome:

Endereço eletrônico:

A. Dados gerais

1. Nome:

2. Endereço eletrônico:

3. Período

4. Gênero: () Masculino () Feminino

5. Idade

7. Por favor, marque abaixo a área na qual você faz atualmente estágios de iniciação científica, caso você esteja envolvido em tal atividade: _____

8. Caso você tenha anteriormente feito estágios voluntários ou de iniciação científica, em qual departamento trabalhou? _____

9. Você está envolvido com ensino? Se sim, quais disciplinas você ensina **atualmente**? Caso tenha estado envolvido com ensino anteriormente, quais disciplinas você já ensinou? _____

B. Questões abertas (tente responder com letra legível).

1. Em sua visão, o que é um gene?

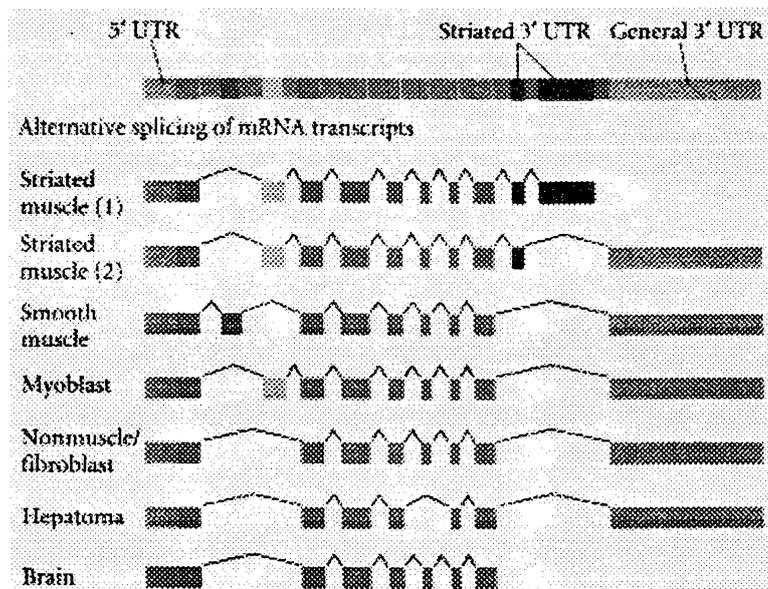
2. O trecho a seguir foi retirado de um texto didático bastante utilizado por professores universitários, “*Molecular Cell Biology*”, de Harvey Lodish e colaboradores:

“Em termos moleculares, um gene é usualmente definido como toda a seqüência de ácido nucléico que é necessária para a síntese de um polipeptídeo funcional. De acordo com esta definição, um gene inclui mais do que os nucleotídeos que codificam a seqüência de aminoácidos de uma proteína, conhecida como a região codificadora. Um gene também inclui todas as seqüências de DNA necessárias para a síntese de um transcrito de RNA particular. Em alguns genes procarióticos, as seqüências de DNA que controlam a iniciação da transcrição pela RNA polimerase podem se encontrar a milhares de pares de bases da região codificadora”.

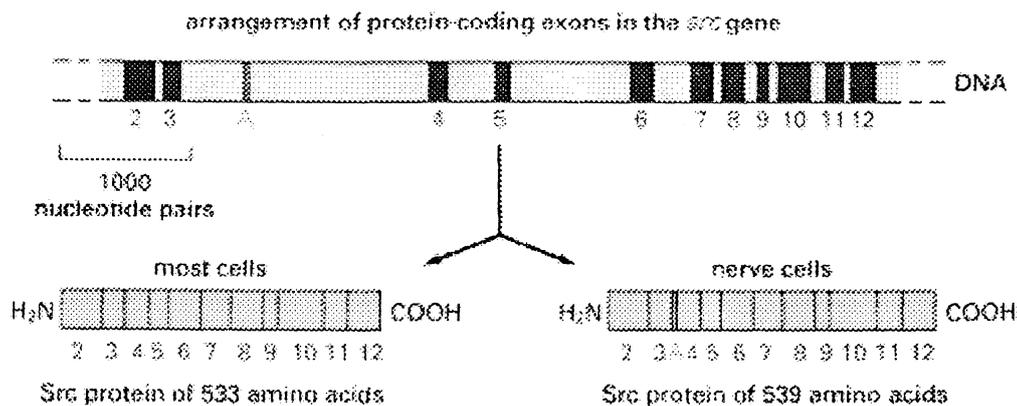
Sobre este trecho, você poderia dizer:

- (a) Eu concordo completamente
- (b) Eu concordo parcialmente
- (c) Eu nem concordo nem discordo
- (d) Eu discordo parcialmente
- (e) Eu discordo completamente

3. Observe as figuras abaixo.



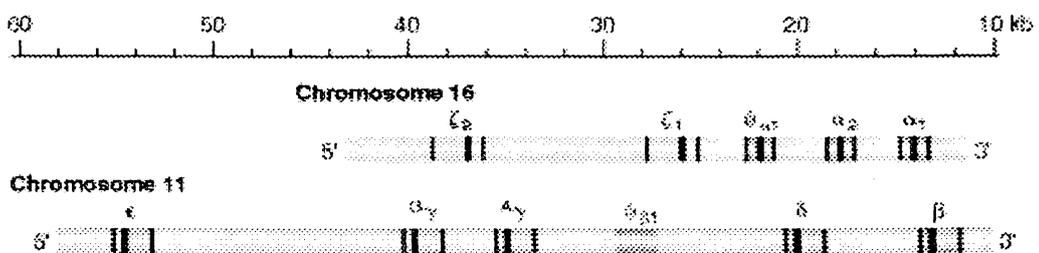
(De Gilbert, S. F. *Developmental Biology* (6th ed.). Sinauer. 2000. *Splicing* alternativo de RNA de uma família de α -tropomiosina de ratos. Disponível em <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/>)



(De Alberts, B. et al. *Molecular Biology of the Cell* (3rd ed.). Garland Publ. 1994. *Splicing* alternativo do gene *Src*. Disponível em <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/>)

As figuras mostram dois casos de **splicing alternativo**. Você considera que o *splicing* alternativo de RNA tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor, explique por que pensa desse modo.

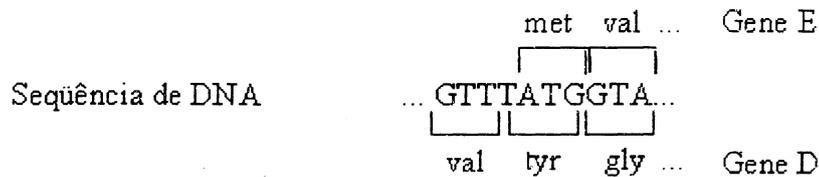
4. Observe a figura abaixo.



(De Cooper, G. M. *The Cell: A Molecular Approach*. Sinauer. 2000. Disponível em <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/>)

Esta figura mostra dois **pseudogenes** nas famílias gênicas da α -globina e da β -globina, $\psi_{\alpha 1}$ e $\psi_{\beta 1}$. Você considera que a existência de pseudogenes tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

5. Observe as figuras abaixo.



A figura acima mostra os genes *D* e *E* do bacteriófago fX174, superpostos na mesma fita de DNA. Em sua visão, a existência de genes superpostos tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

6. Em sua visão, o que é informação?

7. De acordo com sua definição, genes possuem informação? Se você considera que eles possuem, em que sentido genes possuem informação? Se você pensa que eles não possuem informação, por favor, explique por que você pensa dessa maneira.

8. Outras estruturas celulares possuem informação, no sentido em que você definiu o termo? Se você considera que outras estruturas celulares possuem informação, mencione alguns exemplos de tais estruturas e explique em que sentido elas possuem informação? Se você pensa que outras estruturas celulares não possuem informação, por favor, explique por que você pensa dessa maneira.

9. Por favor, leia o trecho abaixo:

“O genótipo é o projeto de um organismo, o conjunto de instruções para o desenvolvimento recebido dos pais. O fenótipo é a manifestação da informação contida no genótipo na forma de características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas ou comportamentais”.

Sobre este trecho, você poderia dizer:

- (a) Eu concordo completamente
- (b) Eu concordo parcialmente
- (c) Eu nem concordo nem discordo
- (d) Eu discordo parcialmente
- (e) Eu discordo completamente

Por favor, justifique sua resposta.

C. Questões fechadas

1. Por favor, marque abaixo APENAS AQUELA ALTERNATIVA QUE VOCÊ PENSA QUE SEJA A MELHOR para caracterizar o que é um gene:

- a) Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie.
- b) Um gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.
- c) Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outra informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico.
- d) Um gene é um determinador de fenótipos ou diferenças fenotípicas.
- e) Um gene é um recurso para o desenvolvimento, lado a lado com outros recursos (epigenéticos, ambientais) igualmente importantes.
- f) Um gene é um processo que inclui seqüências de DNA e outros componentes, que participam na expressão de um produto polipeptídico ou um RNA particular.
- g) Um gene é qualquer segmento de DNA, começando e terminando em pontos arbitrários de um cromossomo, que compete com segmentos alelomórficos pela região do cromossomo em questão.
- h) Um gene é uma seqüência de DNA com uma estrutura característica.
- i) Um gene é uma seqüência de DNA com uma função característica.
- j) Um gene é uma seqüência de DNA que contém uma informação característica.

2. Por favor, marque abaixo TODAS AS ALTERNATIVAS ACEITÁVEIS sobre o que é um gene: (caso deseje, você também pode marcar a alternativa que marcou na questão anterior, além de todas as outras que considerar aceitáveis)

- a) Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie.
- b) Um gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.
- c) Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outra informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico.
- d) Um gene é um determinador de fenótipos ou diferenças fenotípicas.
- e) Um gene é um recurso para o desenvolvimento, lado a lado com outros recursos (epigenéticos, ambientais) igualmente importantes.
- f) Um gene é um processo que inclui seqüências de DNA e outros componentes, que participam na expressão de um produto polipeptídico ou um RNA particular.
- g) Um gene é qualquer segmento de DNA, começando e terminando em pontos arbitrários de um cromossomo, que compete com segmentos alelomórficos pela região do cromossomo em questão.
- h) Um gene é uma seqüência de DNA com uma estrutura característica.
- i) Um gene é uma seqüência de DNA com uma função característica.
- j) Um gene é uma seqüência de DNA que contém uma informação característica

5.2. Grupos

A amostra de alunos foi dividida em dois grupos; os alunos que cursaram ou não as disciplinas de genética. O grupo que não cursou genética será chamado de grupo 1, e o que já cursou genética será o grupo 2.

5.3. Categorias de análise

5.3.1. SESSÃO C: Questões Fechadas.

- **Concepção Mendeliana:** Gene como unidade de herança.

Alternativa:

a) Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie.

- **Concepção Molecular Clássica:** Gene como unidade estrutural e/ou funcional.

Alternativas:

b) Um gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.

f) Um gene é um processo que inclui seqüências de DNA e outros componentes, que participam na expressão de um produto polipeptídico ou um RNA particular.

Obs: Esta alternativa é o conceito molecular processual de Neumann-Held e está situada categoria por razão de proximidade.

h) Um gene é uma seqüência de DNA com uma estrutura característica.

i) Um gene é uma seqüência de DNA com uma função característica.

- **Concepção Informacional:** Gene como portador e/ou unidade de informação.

Alternativas:

c) Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outra informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico.

j) Um gene é uma sequência de DNA que contém uma informação característica

- **Concepção Evolucionária:** Conceito com ênfase na contribuição dos genes para características fenotípicas, a complexa relação entre gene e fenótipo não é considerada pelo conceito.

The term 'evolutionary gene concept', however, is normally attached to a very different idea introduced by George C. Williams (Williams 1966) and elaborated by Richard Dawkins: "Any stretch of DNA, beginning and ending at arbitrarily chosen points on the chromosome, can be considered to be competing with allelomorphic stretches for the region of chromosome concerned" (Dawkins 1982, 87). The purpose of the evolutionary gene concept is to abstract away from the complexities of the gene-phenotype relationship. (STOLTZ et al)

Alternativas:

d) Um gene é um determinador de fenótipos ou diferenças fenotípicas.

Obs: Esta alternativa é o Gene-P de Moss e está situada nesta categoria por razão de proximidade.

g) Um gene é qualquer segmento de DNA, começando e terminando em pontos arbitrários de um cromossomo, que compete com segmentos alelomórficos pela região do cromossomo em questão.

- **Concepção Desenvolvimental:** Gene -D de Moss. Gene como recurso para o desenvolvimento.

Alternativa:

e) Um gene é um recurso para o desenvolvimento, lado a lado com outros recursos (epigenéticos, ambientais) igualmente importantes.

5.3.2. Questão 1B: Em sua visão o que é um gene?

- **Concepção Molecular Clássica:** Gene como unidade estrutural e/ou funcional.
- **Concepção Mendeliana:** Gene como unidade de herança.
- **Concepção Informacional:** Gene como portador e/ou unidade de informação.
- **Concepção Pluralista: Molecular e Informacional:** Gene como unidade estrutural e/ou funcional e como portador de informação.
- **Concepção Pluralista: Mendeliana e Molecular:** Gene como unidade de herança e como unidade de estrutura e/ou de função.
- **Não compreensível**

5.3.3. Questão 2B: Questão Fechada sobre conceito molecular clássico:

(a) Eu concordo completamente (b) Eu concordo parcialmente (c) Eu nem concordo nem discordo (d) Eu discordo parcialmente (e) Eu discordo completamente

5.3.4. Questões sobre *splicing* alternativo, pseudogenes e genes superpostos

Questão 3 (Figura): Você considera que o *splicing* alternativo de RNA tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor, explique por que pensa desse modo.

- Explica o fenômeno e entende a consequência para o conceito.
- Explica o fenômeno, mas não aponta consequências para o conceito de gene.
- Não há consequências.
- Desconhece o conceito de *splicing* alternativo, não tem opinião ou não responde.

Questão 4: (Figura) Esta figura mostra dois pseudogenes nas famílias gênicas da α -globina e da β -globina, $\psi_{\alpha 1}$ e $\psi_{\beta 1}$. Você considera que a existência de pseudogenes tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

- Pseudogenes interferem no conceito de gene
- Pseudogenes não interferem no conceito de gene
- Desconhece o conceito de pseudogenes, não tem opinião sobre o assunto.

Questão 5: (figura) A figura acima mostra os genes *D* e *E* do bacteriófago ϕ X174, superpostos na mesma fita de DNA. Em sua visão, a existência de genes superpostos tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

- Explica o fenômeno e entende a consequência para o conceito
- Explica o fenômeno, mas não aponta consequências para o conceito de gene.
- Não há consequências
- Desconhece o conceito de genes superpostos, não tem opinião ou não respondeu.

5.3.5 Questão 9B, fechada com justificativa sobre o trecho: “O genótipo é o projeto de um organismo, o conjunto de instruções para o desenvolvimento recebido dos pais. O fenótipo é a manifestação da informação contida no genótipo na forma de características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas ou comportamentais”:

- Levam em consideração fatores ambientais.
- Concordam completamente
- Não justificam ou a justificativa não é compreensível

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Sessão C: questões fechadas.

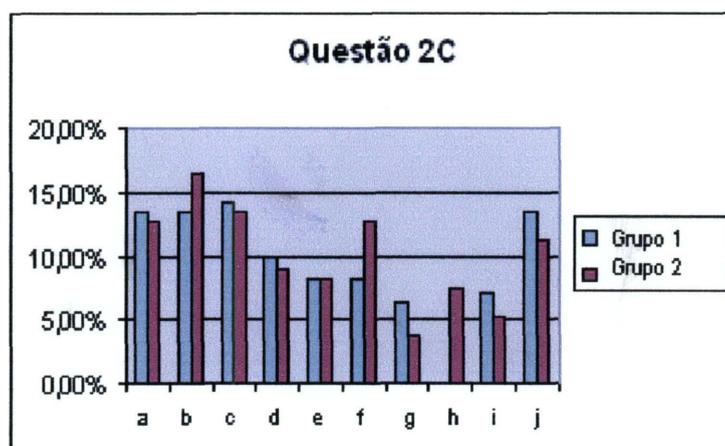
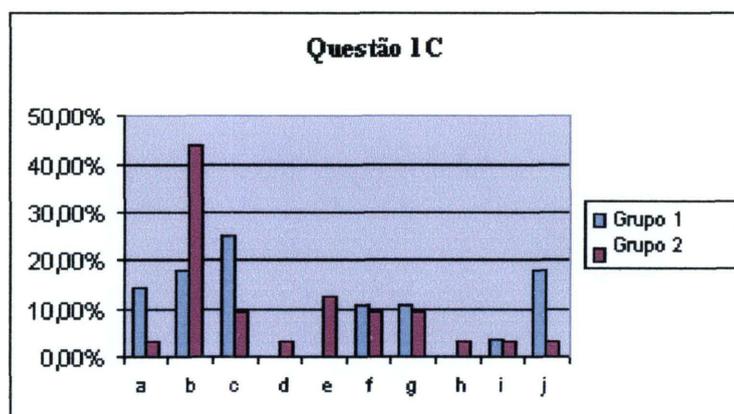
Quando foi pedido para os estudantes escolherem uma entre uma série de questões relativas ao conceito gene (questão 1C: Por favor, marque abaixo APENAS AQUELA ALTERNATIVA QUE VOCÊ PENSA QUE SEJA A MELHOR para caracterizar o que é um gene:) os resultados encontrados foram os seguintes:

Entre os alunos que já fizeram genética a alternativa molecular clássica “Um gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.” foi de longe a mais popular, com 43,75% das escolhas. Entre os alunos que não fizeram genética, esta alternativa teve 17,86% das escolhas, e a preferida foi a informacional “Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outras informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico.” com índice igual a 25%. O conceito mendeliano; “Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie” foi escolhido por 3,12% do grupo 2, e por 14,29% do grupo 1.

Na questão livre 2C, foi permitido escolher mais de uma alternativa entre as mesmas opções da 1C (questão 2C: Por favor, marque abaixo TODAS AS ALTERNATIVAS ACEITÁVEIS sobre o que é um gene. Caso deseje, você também pode marcar a alternativa que marcou na questão anterior, além de todas as outras que considerar aceitáveis.). Neste caso, a questão molecular clássica (“Um gene é uma seqüência de DNA que codifica um produto funcional, que pode ser um polipeptídeo ou um RNA.”) foi novamente a mais popular no grupo 2 (16,42%), e a segunda preferida foi a informacional “Um gene é uma estrutura que transmite de uma geração para outra informações ou instruções para o desenvolvimento e o funcionamento orgânico”. Os alunos que não cursaram genética preferiram a mesma alternativa informacional, e em segundo lugar empataram três alternativas; a outra informacional (Um gene é uma seqüência de DNA que contém uma informação característica.), a mendeliana (Um gene é uma unidade hereditária transmitida da geração parental para a progênie) e a mesma molecular que predominou no grupo 2, todas as três com índice de 13,39%.

Questão 1C	Grupo 1	Grupo 2	Questão 2C	Grupo 1	Grupo 2
a) Mendeliana	14,29%	3,12%	a) Mendeliana	13,39%	12,69%
b) Molecular clássica	17,86%	43,75%	b) Molecular clássica	13,39%	16,42%
c) Informacional	25%	9,37%	c) Informacional	14,29%	13,43%
d) Evolucionária	0%	3,12%	d) Evolucionária	9,82%	8,95%
e) Informacional	0%	12,5%	e) Informacional	8,04%	8,21%
f) Molecular clássica	10,71%	9,37%	f) Molecular clássica	8,04%	12,69%
g) Evolucionária	10,71%	9,37%	g) Evolucionária	6,25%	3,73%
h) Molecular clássica	0%	3,12%	h) Molecular clássica	6,25%	7,46%
i) Molecular clássica	3,57%	3,12%	i) Molecular clássica	7,14%	5,22%
j) Informacional	17,86%	3,12%	j) Informacional	13,39%	11,19%

Tabela 1: Questões 1C e 2C.



6.2. Questão 1B: Em sua visão o que é um gene?

Ao serem questionados diretamente sobre o conceito de gene em uma questão aberta, tanto os alunos que já cursaram genética, quanto os que não cursaram responderam predominantemente o conceito molecular clássico, com índices de 65,62% e 53,57%, respectivamente.

Algumas respostas combinaram o conceito molecular com o conceito informacional ou o mendeliano, e outras foram exclusivamente informacionais ou mendelianas. As categorias encontradas foram:

- **Concepção Molecular Clássica:**

Ex: Questionário nº 32; “Região do genoma que é transcrito em RNA”.

- **Concepção Mendeliana:**

Ex: “Unidade fundamental da herança gênica”

- **Concepção Informacional:**

Ex: Questionário nº 3; “Unidade informacional hereditária”

- **Concepção Pluralista: Molecular e Informacional:**

Ex: Questionário nº 17: “É a parte do material genético que possuem informações que codifica cadeias de polipeptídios, os quais constituem as proteínas” (sic).

- **Concepção Pluralista: Mendeliana e Molecular:**

Ex: Questionário nº 11: “O gene é a unidade fundamental da herança. Ele é constituído basicamente de uma seqüência iniciadora, o gene em si a ser codificado e uma seqüência de término. A partir dele é transcrito o RNAt, RNAm ou RNAr, que, por sua vez, serão traduzidos em aminoácidos, polipeptídeos, proteínas ou partes delas.”

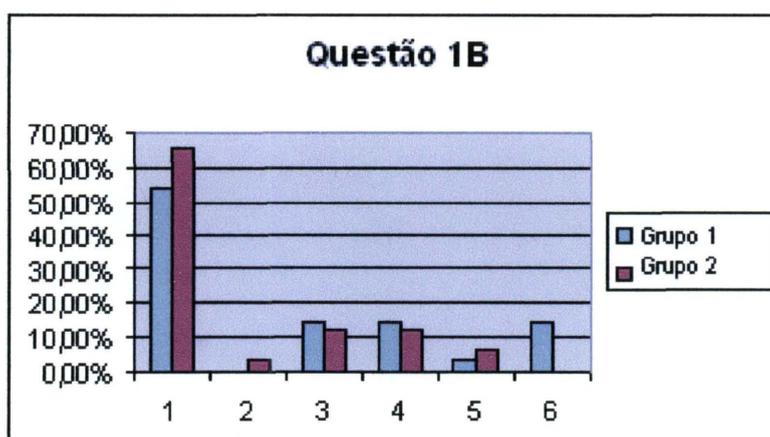
- **Não compreensível**

Ex: Questionário nº 18: *“Uma espécie de parte de um grande código com função de determinar (ou não) alguma característica psico- ou fisiológica- no corpo humano. (sic)*

Tanto no grupo 1 quanto no grupo 2 a concepção molecular clássica prevaleceu, com índices de 53, 57% e 65,62%, respectivamente. Em ambos os grupos o índice da concepção informacional empatou com o da concepção pluralista: molecular e informacional, como segunda categoria mais freqüente. Entre os que já fizeram genética estes índices foram de 12,5% e entre os que não cursaram foram de 14,29%. A concepção exclusivamente mendeliana foi a menos observada nos dois grupos, com índice de 3,12% entre os que já cursaram a disciplina e 0% entre os que não cursaram. Estes últimos tiveram uma porcentagem de 14,29% de respostas não compreensíveis, as quais não foram encontradas no outro grupo.

Questão 1B	Grupo 1	Grupo 2
1) Molecular clássica	53,57%	65,62%
2) Mendeliana	0%	3,12%
3) Informacional	14,29%	12,5%
4) Molecular e Informacional	14,29%	12,5%
5) Molecular e Mendeliana	3,57%	6,25%
6) Não compreensível	14,29%	0%

Tabela 2: Questão 1B: “Em sua visão, o que é um gene?”



6.3 Relação entre a questão aberta 1B “Em sua visão: O que é um gene” e a questão múltipla escolha 1C.

No grupo dos que não fizeram genética 25% concordam a resposta 1B com 1C, entre os que já cursaram genética este índice é de 62,5%.

6.4. Questão 2B sobre conceito molecular.

	Grupo 1	Grupo 2
Concorda completamente	32,14%	41%
Concorda parcialmente	43,75%	43,75%
Nem concorda, nem discorda.	17,85%	3,13%
Discorda parcialmente	0%	12.5%
Discorda completamente	0%	0%

Tabela 3: Questão 2B, sobre conceito molecular clássico.

6.5 Questões sobre *splicing* alternativo, pseudogenes e genes superpostos.

Questão 3 (Figura): Você considera que o *splicing* alternativo de RNA tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor, explique por que pensa desse modo.

CATEGORIAS:

a) Explica o fenômeno e entende a consequência para o conceito.

Exemplo: O nº 13 (já fez genética) inclusive sugere saídas diante do problema do *splicing* para o conceito: “Certamente o *splicing* alternativo é importante para o conceito de gene, pois através dele formam-se produtos distintos transcritos a partir de uma mesma região. Acredito que poderia ser chamado gene toda tal região e, uma nomenclatura complementar, para indicar que mais de um produto

pode ser formado. – no meu ponto de vista, os “genes” das proteínas usados para transcrição não estão envolvidos no conceito. Ex: Na figura 1, seria a região do gene Tropomiosina e se especificaria os ‘subgenes’. (...) Ou talvez, um gene devesse considerar apenas os éxons utilizados no RNA final.”

Nenhum aluno que não cursou genética entrou nesta categoria (0%), entre os que já cursaram a disciplina 43,75% .

b) Explica o fenômeno, mas não aponta conseqüências para o conceito de gene.

Exemplo: nº 18; *“O Splicing alternativo gera diferentes formas de RNAm, que contem o código para a ‘construção do produto’, logo isto pode alterar a funcionalidade da proteína.”*

Entre os alunos do grupo 2 incluídos nesta poucos explicaram o *splicing* alternativo de maneira incorreta, o índice foi de 37,50%. Entre os calouros com exceção no nº 8’, todos explicaram o *splicing* alternativo incorretamente, a argumentação na maioria das vezes era incompreensível, o índice foi de 28,57%.

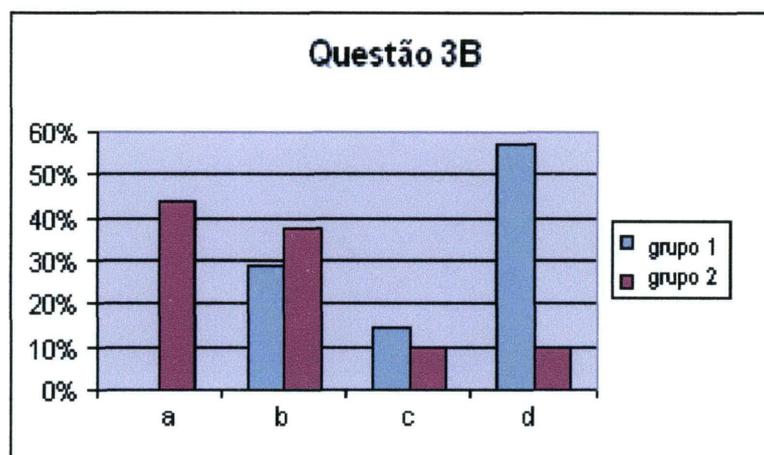
c) Não há conseqüências.

Exemplo: O nº 5 adota um conceito informacional na questão 1 e nega conseqüências do *splicing* alternativo para o conceito: *“Não para o meu conceito, uma vez que independentemente do produto, a seqüência que contem a informação é mantida.*

No grupo 2 esta categoria teve um índice de 9,38%, entre os que não fizeram genética 14,29%.

d) Desconhece o conceito de *splicing* alternativo, não tem opinião ou não responde.

Grupo2; 9,38%, Grupo1; 57,14%



Questão 4: (Figura) Esta figura mostra dois pseudogenes nas famílias gênicas da α -globina e da β -globina, $\psi_{\alpha 1}$ e $\psi_{\beta 1}$. Você considera que a existência de pseudogenes tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

CATEGORIAS

a) Pseudogenes interferem no conceito de gene

Exemplo: Aluno 27; “... *uma estrutura similar também pode ser considerado gene*”

Entre os que não fizeram a disciplina de genética este índice foi de 75%, no grupo 2; 21,88%.

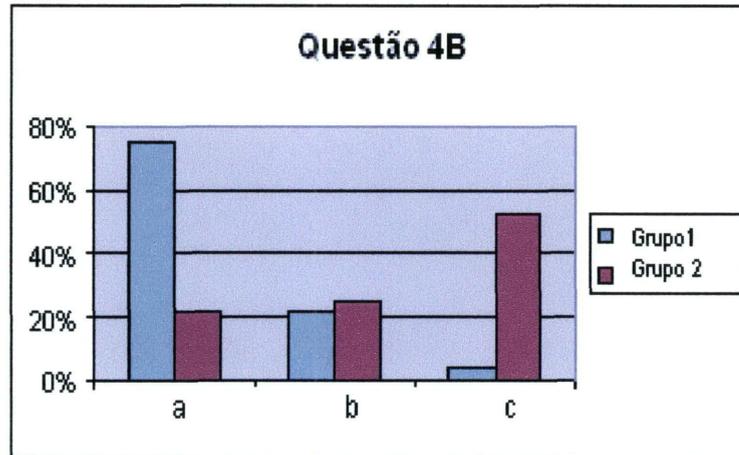
b) Pseudogenes **não** interferem no conceito de gene

Exemplo: Uma argumentação bastante comum foi, por exemplo, a do nº 14 “*Por não ser funcional pseudogene não é gene*”.

Grupo 2; 25%, Grupo 1; 21,43%.

c) Desconhece o conceito de pseudogenes, não tem opinião sobre o assunto.

Grupo 2; 53%, Grupo 1; 3,75%



Questão 5: (figura) A figura acima mostra os genes *D* e *E* do bacteriófago fX174, superpostos na mesma fita de DNA. Em sua visão, a existência de genes superpostos tem alguma consequência importante para o conceito de gene? Caso você pense que há, qual é a consequência? Caso você pense que não há, por favor explique por que pensa desse modo.

CATEGORIAS

a) Explica o fenômeno e entende a consequência para o conceito

Exemplo: Questionário 13: *“É importante pois estão numa mesma região, compartilhando uma seqüência, então ao se definir gene deve-se inserir uma explicação que os diferencie”*

Nenhum estudante que não fez genética está nesta categoria, e entre os estudantes do grupo 2; 15, 63%

b) Explica o fenômeno, mas não aponta consequências para o conceito de gene.

Exemplo: Questionário 2: *“Um gene ocupa uma região no cromossomo, ou seja, seu locus. Genes superpostos compartilham um mesmo locus ou parte de um locus no cromossomo.”*

Grupo2; 34,38%, Grupo1; 39,2%

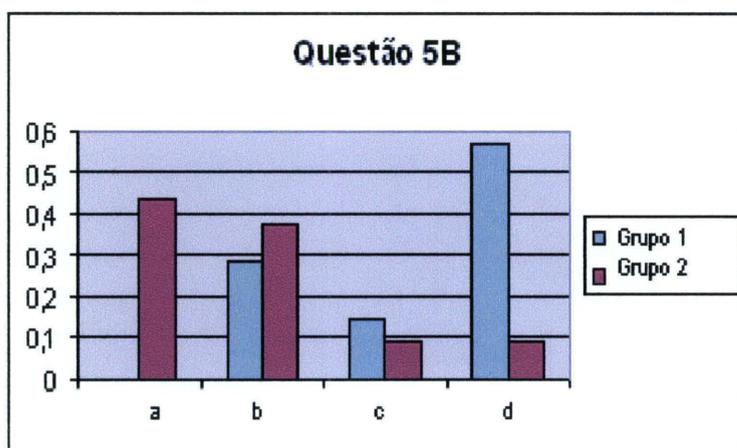
c) Não há conseqüências

Exemplo: Aluno nº 5; “*Não, o início, fim ou sentido do gene é arbitrário*”

Grupo2: 34,38%, Grupo1: 17,86%

d) Desconhece o conceito de genes superpostos, não tem opinião ou não respondeu.

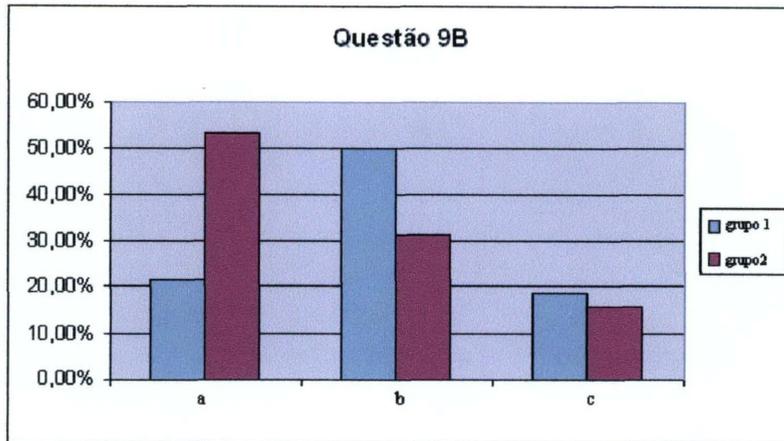
Grupo2: 15,63%, Grupo1: 42,85%



6.6. Questão 9B; fechada e com justificativa, sobre o trecho: “O genótipo é o projeto de um organismo, o conjunto de instruções para o desenvolvimento recebido dos pais. O fenótipo é a manifestação da informação contida no genótipo na forma de características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas ou comportamentais”

	Grupo 1	Grupo 2
a) Consideram fatores ambientais	21,42%	53,12%
b) Concordam completamente	50%	31,25%
c) Não justificam ou não são compreensíveis	18,75%	15,63%

Tabela 4: Questão 9B



Considerar fatores ambientais pode representar uma maior uma tendência a aceitação de concepções desenvolvimentais por parte dos alunos do grupo 2, ou seja, os que já cursaram as disciplinas: “Um gene é um recurso para o desenvolvimento, lado a lado com outros recursos (epigenéticos, ambientais) igualmente importantes”. A metade do grupo 1 entrou na categoria “concordar completamente com o trecho”.

7. CONCLUSÃO

O conceito Molecular clássico predomina entre os estudantes da UFPR e a frequência deste conceito é maior entre os alunos que já cursaram as duas disciplinas obrigatórias de genética. Provavelmente as disciplinas orientam para uma concepção do gene com ênfase na estrutura e/ou função.

O índice de concordância entre as questões 1B e 1C foi maior entre os estudantes que já cursaram genética do que no outro grupo. A falta de concordância pode indicar tanto confusão quanto potencial crítico para admitir diferentes concepções de gene. Embora não tenha sido possível discriminar com clareza entre estas possibilidades, ressalta-se que o grupo 2 demonstra maior coerência da visão de gene.

Na questão 2B, o fato do grupo 2 ter um índice de 12,5% contra 0% do grupo 1 na categoria “discordo parcialmente” pode representar uma menor confiança dos estudantes que já fizeram genética com relação ao conceito molecular clássico, apesar desta visão prevalecer com alta frequência na concepção geral dos dois grupos.

Na questão relativa ao *splicing* alternativo, o índice de 0% do grupo 1 e de 43,75% do grupo 2 na categoria “explica o fenômeno e entende a consequência para o conceito” demonstra eficiência do ensino para a compreensão do fenômeno e sua consequência. Com relação à questão de genes superpostos conclui-se o mesmo, porém vale lembrar que, enquanto o índice do grupo 1 foi novamente 0%, o do grupo 2 foi menor que no caso anterior (15,63%), talvez devido à abordagem aprofundada do fenômeno do *splicing* alternativo no conteúdo das disciplinas.

Ao serem questionados sobre pseudogenes, o fato de 75% do grupo 1 ter respondido que pseudogenes interferem no conceito de gene, em contrapartida com apenas 21,88% do grupo 2, não indica uma maior compreensão do grupo que não cursou genética, mas provavelmente uma maior responsabilidade do grupo que já fez a disciplina com relação a conceitos de genética, no lugar de uma simples análise da etimologia da palavra, como aparentemente ocorreu no grupo 1.

Com relação à questão 9B, observou-se maior frequência de estudantes que consideraram fatores epigenéticos no grupo 2. Os alunos que não cursaram genética tendem a ser mais atraídos por concepções informacionais que o outro grupo. Isto

pode traduzir uma visão determinista, na qual o genótipo determina estritamente o fenótipo, ignorando ou não considerando o fato de que o gene faz parte de um sistema celular, sendo que o fenótipo resulta da atividade deste sistema, em interação com o meio (sobre este aspecto, ver CHARBEL et al, 2006).

Com base na análise dos questionários, foi possível ainda constatar a dificuldade de classificar das concepções dos alunos em categorias simples. A categorização adotada foi baseada na literatura revisada, especialmente em STOLTZ et al (2004), porém ela não parece completamente adequada para a análise do questionário de questões abertas, tendo sido necessário considerar as diversas concepções pluralistas, o que aumentou muito o número de classes de resultados. Por esta razão, foi optado não analisar o conjunto de respostas de cada aluno, de modo a classificar sua concepção predominante e investigar em profundidade as possíveis inconsistências de seu pensamento. Isto foi feito apenas em parte, considerando especialmente as respostas das questões 1B e 1C. Seria interessante uma entrevista estruturada com os sujeitos da pesquisa, para esclarecer estes aspectos. Isto não foi feito por razões de tempo. É importante ressaltar, entretanto, que este é um trabalho prospectivo e que será desenvolvido posteriormente, em maior profundidade.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BONZANINI, Taitiâny Kárita ; BASTOS, F. . **Avanços científicos recentes como temas para o ensino de Biologia na Escola Média: o exemplo do Projeto Genoma Humano**. In: Roberto Nardi; Fernando Bastos; Renato Eugênio da Silva Diniz. (Org.). *Pesquisas em ensino de ciências: contribuições para a formação de professores*. São Paulo: Escrituras: Escrituras, 2004, v. , p. 79-93.

BOSCHUNG, D. **Is the junk that makes us humans Nature**, novembro, 2006

DARWIN, Charles. *Origin of Species (The)* (1858). Disponível em: <http://www.gutenberg.org/etext/2009>

EL-HANI, C. N. Controvérsias sobre o Conceito de Gene e suas Implicações para o Ensino de Genética. In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), 2005, Bauru-SP. *Atas do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*. Bauru-SP : ABRAPEC, 2005. v. 1. p. 178-190

El-Hani, C. N.; Queiroz, J. & Emmeche, C. **A semiotic analysis of the genetic information system**. *Semiotica* (EUA) 160(1/4): 1-68, 2006.

EL-HANI, C. N. ; TAVARES, Eraldo José Madureira ; ROCHA, Pedro Luís Bernardo da . *Concepções Epistemológicas de Estudantes de Biologia e sua Transformação por uma Proposta Explícita de Ensino sobre História e Filosofia das Ciências*. *Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre_RS*, v. 9, n. 3, p. 1-27, 2004.

FALK, R. What is a gene? *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 17, Nº. 2, pp. 133-173, 1986.

FOGLE, T Are genes units of inheritance? *Biology and Philosophy* vol 5, pp. 349-371, 1990

- FREIRE-MAIA N. B. **A ciência por dentro**. Petrópolis: Ed. Vozes, 2000.
- FREIRE-MAIA **Teoria da Evolução: De Darwin à Teoria Sintética**. Belo horizonte: Itatiaia, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988.
- GRIFFITHS, P. E. & NEUMANN-HELD, E. The many faces of the gene. **BioScience** vol. 49, pp. 659-662. 1999.
- GRIFFITHS, P. E. Genetic Information: A Metaphor in Search of a Theory. *Philosophy of Science* 68: 394-412, 2001.
- HAUSSMANN, RUDOLF, **História da Biologia Molecular**. Tradução: Celma de Araújo Hauss Mann – Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1997
- HOLDREGE, CRAIG. The Gene: A Needed Revolution. **The Nature Institute**. 14: 14-17, 2005
- HULL, D. **Philosophy of Biological Science**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 1974
- KELLER, E. F. **O século do gene**. Belo Horizonte: Crisálida, 2002.
- KELLER, E. F. The century beyond the gene. **Journal of Biosciences**. vol. 30, pp. 3-10. 2005.
- KITCHER, P. Genes. **British Journal for the Philosophy of Science**, Vol. 33, No. 4, pp. 337-359, 1982
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 6. ed. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- LORENZANO, P. **Filosofia de la Ciencia**. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes.(sd)

LORENZANO, P. *Hacia una nueva interpretación de la obra de Mendel*. In: Ahumada & Morey. **Selección de trabajos de las VII Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia**, Córdoba: Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, 1997. p. 220-231.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico**. Brasília: UNB, 1998.

MOSS, L. **What genes Can't Do**. Cambridge-MA: MIT Press. 2003.

MAGALHÃES, J C M; KRAUSE, D. *Axiomatização da genética e conceito de gene*. In: Goldfarb, J I & Ferraz, M H M **Anais do VII Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia e VII Reunião da Rede de Intercâmbios para a História e a Epistemologia das Ciências Químicas e Biológicas**. São Paulo: EDUSP Ed. da UNESP, 2000. p.450-454

RHEINBERGER, Hans, Jörg; MUELLER-WILLE Staffan. **Gene**. 2004. Disponível em: <http://plato.stanford.edu/entries/gene/>

STOTZ, K., P. E. GRIFFITHS, R. D. KNIGHT. How biologists conceptualize genes: An empirical study. **Studies in the History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**. 35:647-673, 2004.

SOLHA, Gustavo Cirauco Fraga. **Os genes interrompidos: introdução histórica ao impacto da descoberta dos introns (1977) na controvérsia sobre a definição de gene molecular clássico (1960)**. 112 f. 2005. Dissertação (Mestrado em História da Ciências e da Saúde) – Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz, Rio de Janeiro, 2005.