

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências

MATHEUS GANIKO-DUTRA

**RELAÇÃO PENSAMENTO-LINGUAGEM E DISTORÇÕES CONCEITUAIS NO
USO DE TERMOS INFORMACIONAIS NA BIOLOGIA MOLECULAR E
GENÉTICA**

Bauru
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências

MATHEUS GANIKO-DUTRA

**RELAÇÃO PENSAMENTO-LINGUAGEM E DISTORÇÕES CONCEITUAIS NO
USO DE TERMOS INFORMACIONAIS NA BIOLOGIA MOLECULAR E
GENÉTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da Unesp/ Campus de Bauru, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Ana Maria de Andrade Caldeira.

Bauru
2021

G197r

Ganiko-Dutra, Matheus

Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética / Matheus Ganiko-Dutra. -- , 2021

134 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientadora: Ana Maria de Andrade Caldeira

1. Genética. 2. Metafora. 3. Linguagem. 4. Filosofia da Ciência. 5.
Ensino. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências
Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MATHEUS GANIKO DUTRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS DE BAURU.

Ao 1º dia do mês de abril do ano de 2021, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MATHEUS GANIKO DUTRA, intitulada **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru (participação por videoconferência), Professor Doutor ROMEU CARDOSO GUIMARAES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Genética, Ecologia e Evolução / Universidade Federal de Minas Gerais, Prof. Dr. OSMAR CAVASSAN (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / UNESP/Bauru. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo (a) Presidente (a) da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA

Para Amélia Ganiko e Pedro Dutra,
pela herança genética, ambiental e cultural.

AGRADECIMENTOS

Para que este trabalho fosse possível, contei com a ajuda de muitas pessoas. Acredito que o olhar de um pesquisador sobre um fenômeno é único e tal singularidade se constrói a partir das complexas interações e experiências que cada pessoa vive. Desta forma, gostaria de agradecer às pessoas que colaboraram diretamente para a construção do meu olhar de pesquisador, bem para a elaboração e execução desta pesquisa.

À Prof.^a Dr.^a Ana Maria de Andrade expresso minha gratidão por diversas razões. Primeiro por ter sido minha professora desde a graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas e por ter me apresentado a área da Filosofia da Biologia. Agradeço por todas as oportunidades concedidas durante o período do mestrado e pela orientação impecável. Agradeço por todas as vezes que me recebeu em sua sala e, agora, por todas as ligações e videochamadas que realizamos para discutir a pesquisa e tantos outros assuntos da vida acadêmica. Seu suporte contribui de maneira ímpar para a minha formação como professor-pesquisador.

O incômodo para investigar esta pergunta de pesquisa surgiu durante um encontro do GPEB (Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia) e contou com as “cutucadas” epistemológicas da M.^a Beatriz Ceschim. Além de professora e parceira de pesquisa, sem dúvidas, fiz uma grande amiga. O pesquisador que sou hoje, bem como a forma como eu interpreto o mundo, têm grande contribuição sua. Agradeço por todos os nossos encontros de discussão biológica, nos quais, por muitas vezes precisávamos interromper para ficarmos em silêncio por alguns instantes para organizar as ideias que bombardeavam nossas mentes. Também agradeço pelo companheirismo e por todos os momentos de lazer que compartilhamos. Estar ao seu lado tornou a pesquisa muito mais agradável e leve.

Agradeço aos professores Prof. Dr. Osmar Cavassan e Prof. Dr. Romeu Guimarães pela disponibilidade para compor a banca do exame geral de qualificação e da defesa. As suas contribuições como autoridades na área de pesquisa lançam um olhar indispensável sobre este trabalho para enxergar as possibilidades e limitações de interpretação deste fenômeno. Sem seus apontamentos esta pesquisa estaria incompleta.

Minha formação na área de Ensino de Ciências também foi construída durante as aulas das disciplinas da pós-graduação. A forma como um pesquisador enxerga os fenômenos pesquisados, torna-se a forma como interpretamos a realidade também na esfera pessoal. Pela singular construção das minhas lentes teóricas de interpretação da realidade, agradeço ao Prof. Dr. José Bento Stuart Júnior, à Prof.^a Dr.^a Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani, à Prof.^a Dr.^a

Maria Edneia Martins Salandim, à Prof.^a Dr.^a Maria Ivete Baraldi, que nos deixou imensas saudades, à Prof.^a Dr.^a Ana Maria de Andrade Caldeira, ao Prof. Dr. Osmar Cavassan, ao Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa e à Prof.^a Dr.^a Adriana Bortoletto.

Minha iniciação em pesquisa contou com o apoio e oportunidades proporcionadas pelas professoras Prof.^a Dr.^a Anne Lígia Dokkedal e Prof.^a Dr.^a Veridiana Weiser Brammante durante a graduação, que abriram portas para minhas primeiras pesquisas. Agradeço pelas primeiras e duradouras lições da carreira científica.

Agradeço aos meus pais, Raquel Regina Ganiko Dutra e Valdemir Luiz Dutra por proporcionarem todas as experiências de vida que me trouxeram até aqui. A execução desta pesquisa só foi possível pelo suporte recebido durante toda a minha vida. Esta é uma conquista compartilhada entre nós. Agradeço pela liberdade, aceitação e apoio que recebi durante todas as tomadas de decisões profissionais que fiz. Reconheço todos os seus sacrifícios feitos por mim e espero que eu os tenha convertido neste conhecimento científico produzido.

Agradeço aos meus amigos e demais familiares, principalmente à Tomiko Ganiko e à Letícia Ganiko, que me proporcionaram suporte emocional e com quem compartilhei empolgações e frustrações da carreira acadêmica e da vida pessoal durante este período.

Agradeço a Kevin Delphino e a Raquel Ganiko pela revisão gramatical deste trabalho e pelo suporte emocional por me ouvirem falar durante horas sobre este problema de pesquisa e tantas outras questões e dúvidas nas tomadas de decisão relacionadas que eu deveria fazer.

Uma parcela considerável do meu interesse por esta pesquisa deve-se à participação nos encontros do GPEB. Em minhas participações tanto como participante de pesquisa, quanto pesquisador, as reflexões proporcionadas são o que me mantêm interessado por esta área de pesquisa. As dúvidas geradas causam uma sensação fisiológica única e uma sede em responder perguntas filosóficas da área da Biologia. Por isso, agradeço a todas pesquisadoras e participantes de pesquisa que passaram pelo grupo e contribuíram para chegarmos nos problemas de pesquisa com os quais lidamos hoje.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da Unesp/ Campus de Bauru, por seu corpo técnico e docente que proporcionaram a estrutura adequada para a realização deste trabalho. Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos concedida.

“O conhecimento científico é sempre a reforma de uma ilusão”

(Gaston Bachelard)

“A ciência é também uma produção cultural. Por meio dela, os seres humanos desenvolvem uma obra poética: exprimem o que é o mundo no qual se inserem, descobrem a sua própria produção, partilham uma representação do mundo. Há também a possibilidade de prazer estético, essa atividade em que o ser humano reencontra o seu espírito no mundo por ele estruturado”

(Gérard Fourez)

GANIKO-DUTRA, Matheus. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. 2021. 132 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2021.

RESUMO

Os conceitos informacionais estão presentes em diversas áreas da Biologia, como, por exemplo, na comunicação celular, no comportamento animal, na Neurociência e na Genética. A revisão de literatura indica ausência de consenso a respeito da definição do conceito de informação genética. Tendo em vista a importância da precisão conceitual para o Ensino, este trabalho teve como objetivo investigar os usos dos conceitos informacionais na Biologia Molecular e Genética. Para isso, realizamos análise de conteúdo de 28 artigos, publicados no periódico *Biology and Philosophy*, que discutiam esse conceito no período entre 2000 e 2020. A análise permitiu a identificação de quatro significados distintos para o termo “informação genética”, que denominamos i) informação organizacional-molecular, ii) informação genética propriamente dita, iii) informação ambiental e iv) informação científica. Na síntese, concluímos que o termo é polissêmico e, em alguns casos, metafórico, podendo causar distorções conceituais. As distorções pelo uso metafórico estão relacionadas com a ausência de representação ao nível molecular, a ausência de emissor e receptor da mensagem, a atribuição de teleologia e a causalidade linear. Concluímos que a linguagem possibilita o avanço científico, entretanto, é limitada e pode causar distorções conceituais. Não se trata de eliminar ou substituir os conceitos informacionais, uma vez que eles estruturam a compreensão dos fenômenos moleculares, mas sim de estabelecer critérios para um uso científico e didático preciso dessa linguagem.

Palavras-chave: informação genética, metáfora, polissemia, Epistemologia da Biologia, Ensino de Biologia.

ABSTRACT

The informational concepts are present in multiple areas in Biology, such as cellular communication, animal behavior, Neuroscience and Genetics. The literature review indicates absence of consensus about the concept of genetic information. In view of the importance of the conceptual precision for Teaching, this work aimed investigating the uses of the informational concepts in Genetics. In order to this, we performed a content analysis of 28 articles published in the *Biology of Philosophy* journal that discussed this concept in the period between 2000 and 2020. The analysis allowed the identification of four distinct means for the term “genetic information”, that we denominated i) organizational-molecular information, ii) genetic information itself; iii) environmental information and iv) scientific information. At the synthesis, we concluded the term is a polysemy and, in some cases, a metaphor, being able to cause conceptual distortions. The distortions caused by the metaphoric use are related with the absence of representation at the molecular level, the absence of a sender and a receiver of the message, the attribution of teleology and the linear causation. We concluded that language allows the scientific progress, however, it is limited and can cause conceptual distortion. This is not about eliminating or substituting the informational concepts, once they structure our comprehension of molecular phenomena, but about stablishing criteria for a didactic and scientific accurate use of this language.

Keywords: genetic information; metaphor, polysemy, Epistemology of Biology, Teaching of Biology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Instrução de como interpretar os índices sob os quais foram codificadas as unidades de significado. As duas primeiras letras “BP” indicam o nome do periódico; o número seguinte indica o número do artigo (1); a letra “U” representa “unidade de significado”; e o número seguinte representa a ordem de aparecimento dessa unidade de significado no artigo em questão (2). Neste exemplo, a unidade de significado “BP1U2” trata-se da segunda unidade de significado que foi identificada no primeiro artigo. 37.

Figura 2. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo, e a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos. “Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular”. 48.

Figura 3. Representação eixo ortogonal do fluxo de informação nos organismos. A informação flui de forma horizontal por meio da fisiologia, mediada pelos processos de transcrição e tradução. O fluxo horizontal/fisiológico não ultrapassa os limites espaciais e temporais da vida de um organismo. A informação flui de forma vertical por meio da reprodução, mediada pelos processos de replicação, mitose e meiose. O fluxo vertical/evolutivo é transgeracional. 51.

Figura 4. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo, a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos, e a informação ambiental, que abrange as demais moléculas do ambiente com as quais os ácidos nucleicos interagem e outros componentes físicos. “Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular” $\cap$ “informação ambiental”. As setas indicam as interações que acontecem entre os ácidos nucleicos e demais moléculas e variáveis do ambiente. 66.

Figura 5. Diagrama da interação da informação ambiental em diferentes níveis de organização biológica. A Informação A é percebida pelo organismo por meio de seu sistema sensorial. Essa informação, que pode ser uma molécula ou outro componente físico do ambiente, como a luz, a força da gravidade ou energia, por exemplo, pode ligar-se a um

receptor de membrana específico, entrar diretamente na célula ou ser percebido por uma organela. No ambiente celular, a Informação A interage com diversas enzimas e outras moléculas por meio de uma transdução de sinais, resultando em uma Informação B que irá interagir diretamente com o DNA, ativando ou inibindo a transcrição de uma sequência específica. 67.

Figura 6. Diagrama do princípio dos jogos de sinalização proposto por Planer (2014). Nos jogos de sinalização existem dois agentes com características específicas: o emissor e o receptor. O emissor conhece a fonte de informação, mas não é capaz de elaborar uma resposta. Entretanto, é capaz de enviar um sinal para o receptor, que não conhece a fonte de informação, mas pode elaborar uma resposta a partir do sinal enviado pelo emissor. Fonte: elaborado pelo autor a partir de Planer (2014, p. 44). 70.

Figura 7. Exemplo de representação de processos metabólicos que concebem uma direcionalidade para as moléculas. Estágios finais da oxidação das moléculas de alimentos. As moléculas de NADH e FADH₂ (FADH₂ não está mostrado) são produzidas pelo ciclo do ácido cítrico. Esses carreadores ativados doam elétrons de alta energia que serão usados para reduzir oxigênio gasoso, formando água. A maior parte da energia liberada durante essas transferências de elétrons, que ocorrem ao longo da cadeia transportadora de elétrons na membrana interna da mitocôndria (ou na membrana plasmática de bactérias), é acoplada à síntese de ATP – daí o nome fosforilação oxidativa. 72.

Figura 8. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo; a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos; a informação ambiental, que abrange as demais moléculas do ambiente com as quais os ácidos nucleicos interagem e outros componentes físicos; e a informação científica, representada pelos dados acerca dos ácidos nucleicos obtidos por meio da atividade científica. (“Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular” $\cap$ “informação ambiental”) $\subset$ “informação científica”. As setas indicam as interações que acontecem entre os ácidos nucleicos e demais moléculas do ambiente. Fonte: elaborado pelo autor. 74.

Figura 9. Representação dos fenômenos investigados pela Biologia e a relação com atividade científica. O fenômeno trata-se das interações estabelecidas pelos organismos na mediação

entre ambiente externo e interno ao longo do tempo e em diversos níveis de organização biológica, como indicado na caixa denominada “fenômeno”. A comunidade científica, dedica-se a investigar esse fenômeno por meio de métodos e teorias. As setas indicam as interações recíprocas. A palavra “informação genética” é utilizada para descrever tanto os aspectos do fenômeno, quanto a atividade científica de investigação do fenômeno. 82.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diagrama do percurso metodológico desta pesquisa. Cada caixa está detalhadamente explicada nas seções seguintes. 33.

Quadro 2. Lista dos artigos incluídos na amostra após busca na base de dados do periódico *Biology and Philosophy* entre 2000 e 2020. A primeira coluna indica o código do artigo, e segunda coluna apresenta os respectivos anos de publicação e autores dos artigos em ordem numérica-alfabética. 35.

Quadro 3. “Sistema de Classificação: significados de “informação genética”” utilizado para a codificação das unidades de registro. Em cada categoria (a, b, c, d), estão apresentados exemplos de fragmentos textuais que permitiram a codificação de uma unidade de registro sob aquele código. Os fragmentos textuais são apresentados conforme aparecem nos artigos, por isso estão em Inglês. 38.

Quadro 4. Apresentação do resultado da análise de conteúdo. Neste quadro, as unidades de registro aparecem apenas na forma dos índices que foram atribuídos a cada uma delas. Para acessar os índices, consultar o Apêndice A. As unidades de registro foram classificadas de acordo com os significados de “informação genética” que encontramos ao nível dos fenômenos moleculares (informação organizacional-molecular, $n=31$; informação genética, $n=278$; informação ambiental, $n=35$; e informação científica, $n=52$). 40.

Quadro 5. Texto que apresenta a discussão acerca da possibilidade de a informação genética propriamente dita constituir um signo triádico na perspectiva da Semiótica Peirceana. 60.

Quadro 6. Síntese dos resultados e discussões acerca dos quatro significados identificados para o termo informação genética nos artigos do periódico *Biology and Philosophy* de 2000 a 2020. Apresenta-se o nome da categoria, a definição, seus conceitos estruturantes, a pretensão de denotação ou conotação e indica-se os principais artigos que discute o significado apontado. 89.

SUMÁRIO

TRAJETÓRIA DO PESQUISADOR	11
INTRODUÇÃO	12
1 OBJETIVOS	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 FILOSOFIA DA CIÊNCIA.....	14
2.2 DIDÁTICA, EPISTEMOLOGIA DA BIOLOGIA E LINGUAGEM	15
2.3 ENSINO DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR	17
2.4 INFORMAÇÃO GENÉTICA	18
2.4.1 Informação de Shannon ou informação causal	20
2.4.2 Informação semântica.....	20
2.4.3 Informação reificada	23
2.4.4 Informação transmissiva.....	23
2.4.5 Informação evolutiva.....	25
2.4.6 Informação fictícia	26
2.4.7 Jogos de sinalização	27
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	29
3.1 PESQUISA QUALITATIVA.....	29
3.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO.....	30
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	32
3.3.1 SELEÇÃO DE ARTIGOS.....	33
3.4 PRÉ-ANÁLISE.....	36
3.4.1 Objetivos e hipóteses.....	36
3.4.2 Regras de recorte.....	36
3.4.3 Sistema de classificação: Os quatro significados de “informação genética”	37
3.5 AGRUPAMENTO	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 ANÁLISE: CATEGORIAS DE INFORMAÇÃO.....	41
4.1.1 Informação organizacional-molecular.....	41
4.1.2 Informação genética propriamente dita	47
4.1.3 Informação ambiental.....	65
4.1.4 Informação científica.....	74
4.2 SÍNTESE CRIATIVA: EPISTEMOLOGIA DA INFORMAÇÃO GENÉTICA E LINGUAGEM	80
4.2.1 Polissemia	84

4.2.2 Metáfora	85
4.3 QUADRO COMPARATIVO.....	90
5 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A	98

TRAJETÓRIA DO PESQUISADOR

Quando faço o exercício de recordar-me do surgimento do meu interesse pela Filosofia da Biologia, lembro-me do meu primeiro semestre da graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas, das aulas da disciplina de Física Geral sob responsabilidade do Prof. Dr. Paulo Noronha. Consigo me recordar do ensino por metacognição, em que o professor fazia-nos tomar consciência a respeito daquilo que nós mesmos estávamos pensando. A construção cognitiva tinha um caráter de descoberta, o que por sua vez tinha um impacto sobre meu autoconceito: eu sentia que era capaz de pensar e produzir conhecimento. Os conteúdos dessa disciplina resvalaram diversas vezes no conceito de “vida” e discussões bastante interessantes foram promovidas em sala de aula, que me fizeram buscar por outros materiais após a disciplina.

Uma dessas experiências, foi a leitura do livro “*O que é vida*”, de Lynn Margulis e Dorion Sagan, que abriu minha mente e me fez perceber que a estrutura curricular do curso de Biologia era limitada no que diz respeito à existência de espaços de discussões epistemológicas acerca dos fenômenos biológicos e que as disciplinas seguiam uma metodologia memorística e técnica.

No terceiro ano da graduação, na disciplina de História e Filosofia da Ciência, sob responsabilidade da Prof.^a Dr.^a Ana Maria de Andrade Caldeira, pude conhecer a pesquisadora por quem mais tarde eu teria a fortuna de ser orientado. Nesta disciplina, pude ter contato com as discussões filosóficas de forma mais sistematizada e aprofundada, e naquele momento, senti que havia encontrado o que faltava no curso. As discussões me inquietavam, e logo desenvolvi apreço pela sensação de que o conhecimento biológico não é estático: o que havíamos aprendido no curso, até então, podia ser questionado. Poucas eram as certezas e haviam muitas outras possibilidades e questionamentos: novos rumos para o futuro da Biologia enquanto Ciência. Diante deste novo universo, eu quis fazer parte da construção desse futuro.

Ao final da disciplina, a professora nos convidou para participar do Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB). Nos encontros, pude conhecer a M.^a Beatriz Ceschim, que posteriormente também foi minha professora durante a graduação e, hoje, parceira de pesquisa. No grupo, pude perceber como a Filosofia da Biologia não era apenas uma área de pesquisa pela qual eu me interessava, mas sim aquilo que dá sentido à minha existência. Como eu estava desenvolvendo pesquisas na área de Botânica e Ecologia durante a graduação, deparei-me com uma importante decisão a ser tomada, que em grande parte

mudaria meu destino enquanto pesquisador. É difícil tomar essas decisões quando praticamente todas as áreas da Biologia me fascinam, mas percebi que na Filosofia da Biologia eu poderia discutir esses conceitos de forma mais ampla e integrada, transitando entre todas as demais disciplinas.

Dessa forma, o delineamento da pergunta desta pesquisa nasceu dos encontros do GPEB por um incômodo pessoal que senti com o conceito de “informação”. Estávamos discutindo a linguagem do ponto de vista evolutivo, suas bases biológicas e seus efeitos no sucesso reprodutivo de nossa espécie e resvalamos no conceito de informação. O abismo existente na precisão desse conceito me incomodou e, por isso, decidi dedicar minha pesquisa de mestrado para iluminar um olhar menos ingênuo para esse conceito e para compreender os efeitos do seu uso na prática científica e no Ensino.

INTRODUÇÃO

Os conceitos informacionais, tais como informação, sinalização, transmissão e receptores, por exemplo, são ubíquos na descrição e comunicação dos fenômenos dentro da Biologia. Na Neurociência, as interações entre neurônios são descritas em termos de transmissão de informação. Na Etologia, as interações entre animais são descritas em termos de comunicação e sinalização: um canto de um pássaro pode “sinalizar” a presença de um predador. As interações moleculares em todos os organismos são descritas em termos de comunicação e sinalização celulares: um hormônio “sinaliza” a concentração de uma molécula na corrente sanguínea, por exemplo. Na Genética, o DNA “armazena” informação.

A ênfase deste trabalho está na forma como os conceitos informacionais são utilizados para descrever a estrutura e fisiologia dos ácidos nucleicos. A expressão “informação genética” está presente na linguagem que biólogos e professores de Biologia utilizam para se comunicar no cotidiano. A “função” da molécula de DNA frequentemente é explicada em termos informacionais, bem como as suas interações moleculares estabelecidas no ambiente celular. Apesar da frequência com que os termos são utilizados, seu uso pode ser problemático, uma vez que carece de precisão conceitual até mesmo na literatura científica.

O debate filosófico acerca deste conceito tem sido dedicado para elucidar se esse uso da linguagem é denotativo ou conotativo na prática científica. Ou seja, a informação genética descreve *literalmente* a forma como os fenômenos biológicos se manifestam ou nos permite acessá-los de forma *metafórica*? Uma vez que a linguagem estrutura nosso pensamento, permite que nós, enquanto comunidade científica e professores, acessemos a realidade e atuemos sobre ela, manipulando-a e fazendo previsões sobre o comportamento das variáveis.

Portanto, é importante delimitarmos as possibilidades e limites que a linguagem nos proporciona e nos impõe, para atingir uma prática científica e docente mais precisa e eficaz. Os autores da Filosofia da Biologia têm se posicionado em algumas correntes acerca do conceito de informação em Biologia, desde aquelas que aceitam seu uso, até as que acreditam que tal aplicação distorce o entendimento dos fenômenos e deveria ser abolido.

Tanto a Base Nacional Comum Curricular (2018) quanto o Currículo do Estado de São Paulo (2011) indicam a importância do Ensino de conceitos de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio. Desta forma, faz-se necessário aprofundar o debate epistemológico a fim de fornecer clareza conceitual para o ensino, diminuindo a reprodução de distorções conceituais. Os conceitos informacionais relacionados ao DNA, como “informação”, “código”, “programa” e “receita”, conforme aparecem no Currículo do Estado de São Paulo, facilitam a compreensão das reações que envolvem essa molécula, em relação à sua estrutura e função, ou se mantêm ao nível da metáfora e acabam promovendo a distorção conceitual?

Essa compreensão, ainda de natureza da percepção individual, necessitou se aprofundar na pesquisa do debate epistemológico, objetivando corroborar ou não o observado. Dessa forma, foi preciso investigar os efeitos do uso irrefletido dos conceitos informacionais pelos profissionais da Ciência, no que diz respeito à efetividade da comunicação entre parceiros de trabalho e na promoção ou não de distorções conceituais na aprendizagem. Na seção a seguir, são expostos os objetivos desta pesquisa.

1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal estabelecer um ensaio filosófico acerca do conceito de “informação genética” em Biologia. Para tanto, tivemos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar os usos desses termos no conhecimento científico por meio das publicações existentes na área;
- b) propor uma definição ou definições para “informação genética”;
- c) delimitar possibilidades de distorção conceitual no uso desses conceitos; e
- d) estabelecer critérios para o uso da linguagem conotativa de forma a se evitar distorções conceituais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A Ciência consiste em uma atividade humana de interpretação e manipulação da realidade. Esta atividade conta com uma abordagem intelectual dos fenômenos, apresentando métodos, conceitos e ferramentas específicas para responder as questões que se colocam (FOUREZ, 1995). Apesar de a Ciência apresentar diversos métodos, cada um mais adequado a uma área do conhecimento específica, é possível falar do “método científico”, conforme proposto por Claude Bernard, que inclui a observação, a constatação de leis, a verificação experimental e a construção de teorias que descrevem a realidade (ibid.).

O caráter objetivo da Ciência é construído a partir do sentimento de realidade. Este sentimento, por sua vez, é conferido pelo fato de que a forma como um sujeito compartilha as percepções acerca do mundo em que vive é igual à forma como os demais sujeitos compartilham suas percepções. Esta intersubjetividade, permite que os sujeitos convençionem e padronizem percepções a respeito de um fenômeno dentro de uma determinada cultura, atribuindo, assim, objetividade para a Ciência (FOUREZ, 1995).

Bachelard (2018, p. 13) caracteriza a ciência positivista do século XIX como homogênea, produzida a partir de uma razão estável e de um interesse comum. Esta ciência tem sua precisão dada pela percepção das experiências. Entretanto, para o autor, a ênfase empírica pode conferir à ciência uma construção epistemológica inadequada, conforme foi evidenciado por inconsistências que surgiram na Física do século XX ao estudar o mundo atômico. Se a existência de um fenômeno a ser estudado não pode ser assegurada pela experiência, a precisão científica deve ser dada pela rigidez racional, permitida a partir da reflexão e não pela percepção dessa experiência. Diante desse quadro, ao fundamentar as ciências contemporâneas, Bachelard aponta que “o conhecimento científico é sempre a reforma de uma ilusão” (2018, p.16).

Por meio do método científico, a Ciência elabora modelos teóricos, que consistem em representações dos fenômenos. Os modelos orientam as investigações científicas e a aplicação do conhecimento, orientando a percepção que temos do mundo. Para que um conhecimento seja aceito como científico, é preciso que ele obedeça ao critério da falseabilidade. Este critério determina que uma teoria científica deve contar com a possibilidade de ser colocada à prova: ser testada. Uma teoria que não admite a possibilidade de ser rejeitada não deve ser considerada como científica (FOUREZ, 1995).

O conceito de limite do conhecimento científico, de acordo com Bachelard (2018, p. 24), pode ser cientificamente definido como um momento de pausa em um programa de pesquisa, ao contrário de um obstáculo absoluto; e filosoficamente definido como um problema de pesquisa mal colocado. Assim, o filósofo conclui que o papel da Filosofia da Ciência reside em “destruir sistematicamente os limites que a filosofia tradicional tinha imposto à ciência” (BACHELARD, 2018, p. 25).

Entretanto, a adoção ou rejeição de um modelo não se dá apenas pela sua verificação, ou seja, pela sua capacidade de previsão do comportamento de variáveis corresponder com os experimentos; mas sim pela utilidade que um modelo tem ao responder um problema específico. Dessa forma, o que importa não é necessariamente que todas as observações de resultados empíricos se encaixem em um modelo, mas sim que conheçamos as limitações dos modelos existentes e entre eles escolhamos aquele que melhor satisfaz os interesses de pesquisa (FOUREZ, 1995).

A construção da Ciência tem uma determinação histórica e social, ou seja, a produção do conhecimento científico está submetida às limitações históricas e políticas, no que diz respeito aos interesses e condições materiais (FOUREZ, 1995). Dadas tais restrições, o conhecimento científico não é absoluto, ele responde demandas específicas da sociedade. No ano de 2020, por exemplo, a área de Epidemiologia tem sido o foco de investigações e financiamento, devido à necessidade de combate à pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2).

Levando em consideração tais apontamentos acerca da Filosofia da Ciência, evidencia-se a importância da profundidade epistemológica na construção do conhecimento científico. Tal importância deve estar presente tanto na Ciência como no Ensino de Ciências. No item a seguir, discutimos a importância da Epistemologia da Biologia integrada à Didática, bem como a importância da Linguagem nesse processo.

2.2 DIDÁTICA, EPISTEMOLOGIA DA BIOLOGIA E LINGUAGEM

A Didática é uma área do conhecimento que investiga a relação triádica entre o professor, o conhecimento e o estudante (CALDEIRA; BASTOS, 2009). Levando em consideração os objetos de pesquisa desta área, é possível investigar quais são os conteúdos científicos e pedagógicos que o professor deve dominar, as abordagens de ensino que o professor deve conhecer, teorias da aprendizagem, a natureza do conhecimento científico, as habilidades do pensar necessárias para que o aluno aprenda, a forma como a linguagem interfere nesse processo, entre outras questões.

O sucesso da ação didática depende não só do conhecimento pedagógico, mas sim do conhecimento pedagógico do conteúdo (SHULMAN, 1986). Dessa forma, conhecer a Epistemologia de um conhecimento científico é imprescindível para o docente fundamentar suas escolhas discursivas e conduzir a aprendizagem do estudante (CALDEIRA, 2009). Na área do Ensino de Biologia, é indispensável que o professor domine a construção dos conceitos biológicos como representações de conceitos, bem como a natureza do conhecimento biológico, compreendendo como a Biologia constitui-se como uma ciência autônoma (ibid.).

As pesquisas realizadas e em andamento no Grupo de Pesquisa em Epistemologia da Biologia (GPEB), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da Unesp/ Bauru têm evidenciado como a formação de professores de Biologia é fragmentada, superficial e como a existência de um espaço de discussão e formação epistemológica é imprescindível para a construção de uma habilidade didática aos estudantes desses cursos (ANDRADE, 2011; BRANDO, 2010; CESCHIM, 2017; MARICATO, 2012; MEGLHIORATTI, 2009).

Com a finalidade de preencher essa lacuna, o vigésimo volume da série de livros “Educação para a Ciência” intitulado “Didática e Epistemologia da Biologia” organizado por Caldeira (2020) reúne resultados de doze anos de pesquisa do GPEB em capítulos que oferecem um arcabouço epistemológico integrado em Evolução, Genética e Ecologia para professores e pesquisadores da área de Ciências Biológicas.

Além da importância da compreensão da natureza do conhecimento biológico de forma integrada e sistêmica, o professor de Biologia deve ser capaz de escolher discursos que ofereçam uma linguagem consistente com a Epistemologia, bem como evitar opções linguísticas que promovam distorções conceituais (CALDEIRA, 2009). Uma vez que a linguagem fornece a possibilidade de representarmos a realidade, é por meio dela que estruturamos nosso pensamento e nos comunicamos a respeito dos fenômenos que experienciamos (EVANS; GREEN, 2006). Tendo em vista que a linguagem é uma representação, ela é menos rica em detalhes que a experiência e o próprio fenômeno (CALDEIRA, 2009). Um ensino pautado somente na linguagem é limitado e, por isso, o professor precisa acessar as concepções dos estudantes a fim de diagnosticar se há distorções conceituais na aprendizagem.

Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020) oferecem um quadro para diagnosticar as distorções conceituais em Biologia, utilizando como critérios a linguagem, a natureza do pensamento humano e a aplicação do conhecimento biológico. Os autores indicam como a

linguagem utilizada pelos professores pode promover distorções conceituais ao empregar a polissemia e figuras de linguagem como metáfora, metonímia, antítese e personificação. O uso desses recursos linguísticos no discurso didático pode causar uma aprendizagem que atribui aos fenômenos biológicos uma causação linear, dicotomização, cartesianismo e teleologia, ou seja, uma aprendizagem incompatível com os aspectos da Epistemologia da Biologia, que concebe os fenômenos biológicos a partir de uma causação múltipla, de forma complexa, integrada, sistêmica e contingente (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

Tendo em vista a importância da linguagem para o ensino-aprendizagem dos conceitos biológicos de forma consistente com a Epistemologia da Biologia, urge desvendar os casos em que o uso conotativo ou denotativo de conceitos utilizados no discurso didáticos não está bem identificado. A seguir, discutimos alguns aspectos do Ensino de Genética e, na sequência, “informação genética” como um desses casos problemáticos.

2.3 ENSINO DE GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR

Os docentes que atuarão na Educação Básica precisam se apropriar de questões científicas recentes para compreender o trabalho científico sem deformações, tornando-se emancipados para enxergar e romper visões distorcidas da natureza da Ciência (GIL-PÉREZ et al., 2001) e, também, por permitir que dominem teorias que futuramente serão inseridas no currículo e precisarão estar presentes em suas rotinas no trabalho pedagógico.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018), os conceitos de hereditariedade e genética mendeliana são importantes para a consolidação da “Competência Específica 2” da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio: “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, 2018, p. 558). O documento também ressalta a importância do conceito de DNA para o domínio da “Competência Específica 3” da mesma área, intitulada:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BRASIL, 2018, p. 560).

O Currículo do Estado de São Paulo ressalta a importância do Ensino de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio. Este documento, ao fazer referência à molécula de DNA, usa palavras como “código”, “programa” e “receita da vida” (SÃO PAULO, 2011). Para que o professor seja capaz de didatizar tal conteúdo, é preciso que ele o domine com maestria, demonstrando, assim, um conhecimento pedagógico do conteúdo (SHULMAN, 1986).

Já para pesquisadores em Biologia, o aprendizado de tais conceitos faz-se necessário por permitir que o biólogo leia e interprete os fenômenos da vida a partir de pressupostos teóricos integradores e completos, possuindo, portanto, um maior poder explicativo e enriquecendo a formulação de hipóteses que irá determinar as etapas de experimentação e coleta de dados empíricos. Assim como assinalam Gil-Pérez e colaboradores (2001), todo o delineamento experimental de um trabalho científico será determinado pela teoria que o cientista em questão domina.

Dentre os termos utilizados no Ensino de Genética e Biologia Molecular, está “informação” associada principalmente à molécula de DNA, conforme será descrito a seguir.

2.4 INFORMAÇÃO GENÉTICA

Junqueira e Carneiro (2015) no livro “Biologia Celular e Molecular”, utilizado como referência bibliográfica em cursos de Ciências Biológicas (UNESP, 2015, 2019), apresentam o genoma como “a totalidade de informação genética contida no DNA da célula” (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2015, p. 345), e a molécula de ácido desoxirribonucleico (DNA), como “o responsável pelo armazenamento e transmissão da informação genética” (p. 55). Entretanto, “informação genética” não está conceituada no livro.

Outro material bastante utilizado em cursos de formação de professores é “Biologia Molecular da Célula”, de Alberts e colaboradores (2017). Em seu capítulo introdutório, os autores afirmam que “todas as células armazenam sua informação hereditária no mesmo código químico linear: o DNA” (2017, p. 2). A discussão continua com uma analogia: assim como os computadores armazenam informações na forma de *bytes*, as células armazenam informação hereditária na forma da molécula de DNA. São descritas também as formas de replicação, transcrição e tradução dessa informação. Apesar da evidente importância do conceito de “informação” para os fenômenos biológicos, não há uma definição conceitual precisa do termo.

Além do referencial da Biologia Molecular, a Semiótica Peirceana admite a existência de linguagem na vida enquanto fenômeno de produção de significado e sentido. Neste sentido, Santaella (2007) explica:

Aquilo que chamamos de vida não é senão uma espécie de linguagem, isto é, a própria noção de vida depende da existência de informação no sistema biológico. Sem informação, não há mensagem, não há planejamento, não há reprodução, não há processo e mecanismo de controle e comando. No caso da vida, estes são necessariamente ligados a uma linguagem, a uma ordenação obtida a partir de um compartimento armazenador da informação como a DNA (substância universal portadora do código genético). Portanto, os dois ingredientes fundamentais da vida são: energia (que torna possíveis os processos dinâmicos) e informação (que comanda, controla, coordena, reproduz e, eventualmente, modifica e adapta o uso da energia) (SANTAELLA, 2007, p. 13-14).

A autora admite a informação como um componente fundamental da vida, além da energia e da matéria propriamente dita.

Em um ensaio filosófico, Godfrey-Smith (2008) discute a aplicação do termo informação na Biologia. A palavra é comumente utilizada para descrever um fenótipo codificado, a execução de um programa dos genes e, até mesmo, a constituição da matéria-prima dos genes. Não há consenso para a viabilidade do uso dessa palavra dentro da Biologia, existindo autores que consideram conceitos informacionais um avanço e até autores que abominam. Godfrey-Smith conclui que o uso desses conceitos é guiado tanto por características reais dos mecanismos genéticos, bem como por modelos esquemáticos causais que direcionam o uso dessa linguagem. Uma vez identificada a complexidade do uso desses conceitos, o autor mantém aberta a discussão da validade da aplicação dessa linguagem na Biologia (GODFREY-SMITH, 2008). A questão tem dividido os pesquisadores e diversas correntes teóricas têm emergido.

A revisão de literatura realizada a respeito desta problemática permitiu a identificação de sete principais concepções de “informação genética”. Elas serão descritas a partir 1) da pretensão declarada dos autores de abordar o DNA como informação de forma denotativa, ou seja, de afirmar que a molécula realmente é/contém informação; ou de forma conotativa, quando os autores identificam um uso metafórico desses conceitos para abordar o ácido desoxirribonucleico. As concepções também serão classificadas de acordo com 2) o sentido de transmissão da informação. Este sentido pode acontecer horizontalmente, quando se limita

ao Dogma Central da Biologia Molecular, ou seja, limita-se ao tempo de vida ontogenético dos organismos; ou pode acontecer verticalmente, quando a transmissão da informação ocorre da geração parental para os descendentes. As concepções a serem apresentadas a seguir são: a informação de Shannon/causal, a informação semântica, a informação metafísica/reificada, a informação transmissiva, a informação evolutiva, a informação fictícia e os jogos de sinalização.

2.4.1 Informação de Shannon ou informação causal

O contexto mais evidente em que a informação genética é empregada remonta à teoria da informação de Claude Shannon utilizada na área da Matemática (SHANNON, 1948). A teoria de Shannon está fundamentada em equações e permite quantificar relações entre duas variáveis. Neste sentido, dizer que “*x* contém informação sobre *y*” é simplesmente dizer que existe uma relação entre *x* e *y* (GODFREY-SMITH, 2008). Existe uma fonte (*x*), e uma variável que carrega informação sobre a fonte (*y*). Assim, a fumaça carrega informação sobre o fogo, por exemplo. A informação flui em dois sentidos: de *x* para *y* e de *y* para *x*.

Desta forma, o genótipo contém informação sobre o fenótipo, bem como o fenótipo também contém informação sobre o genótipo, ou seja, entre ambos existe somente uma correlação. Esta concepção de informação também recebeu o nome de “informação causal” e limita-se a dizer que entre dois elementos existe uma relação (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; GODFREY-SMITH, 2008).

Portanto, pode-se afirmar que esta concepção usa os conceitos informacionais de forma denotativa, afinal, por mais que seja mediada por diversas proteínas e ácidos nucleicos, o genótipo realmente *tem uma relação* com fenótipo e vice-versa. Além disso, o sentido do fluxo de informação é horizontal, localizado no tempo de vida ontogenético: a informação flui do genótipo para o fenótipo, seja ele uma proteína, uma característica do organismo, ou até mesmo o organismo em si.

Os pesquisadores questionaram-se a respeito da superficialidade da concepção causal da informação e dedicaram-se a aprofundar o poder explicativo do termo. A partir destes esforços, surgiu a concepção semântica da informação (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; GODFREY-SMITH, 2008).

2.4.2 Informação semântica

Enquanto para a informação de Shannon a relação entre *x* e *y* é de *correlação*, para a informação semântica, a relação existente entre o genótipo e o fenótipo é de *representação*. Esta representação é explicada pela relação simbólica existente no código genético. Assim

como palavras são signos que representam ideias, códons representam aminoácidos (MAYNARD-SMITH, 2000, p. 185). Isso quer dizer que não existe uma relação óbvia e necessária entre códons e aminoácidos. Esta ideia é explicada pelo conceito de arbitrariedade química.

O princípio de arbitrariedade química pode ser compreendido a partir do exercício de Stegmann (2004) ao explicar a ausência de princípio químico nas reações que envolvem enzimas alostéricas. Nestas enzimas, o substrato e a molécula que funciona como modulador ligam-se em sítios distintos na enzima. Devido a esta separação espacial, a estrutura molecular do substrato e do modulador não precisam ser complementares estereoquimicamente. Por mais que uma afinidade entre o substrato e o seu sítio de ligação na enzima seja necessária, esta afinidade não é necessária entre o substrato e o modulador. Portanto, pode-se dizer que a relação entre estas moléculas é arbitrária (STEGMANN, 2004).

Da mesma forma, não há uma relação estereoquímica necessária diretamente entre o códon e o aminoácido. A relação entre um códon e um aminoácido é mediada por enzimas e RNAs, e uma complementariedade estereoquímica é necessária para que os nucleotídeos do RNAm reajam com enzimas que o associem ao RNAt, que por sua vez reage com enzimas que ligam o RNAt a um aminoácido. Neste sentido, pelas mesmas condições que CAC codifica histidina, poderia codificar outro aminoácido (MAYNARD-SMITH, 2000, p. 185; STEGMANN, 2004).

Por mais que exista um código genético quantitativamente predominante, sabe-se que existem códigos genéticos distintos em determinados organismos em que os mesmos códons codificam aminoácidos diferentes (FOX, 1987). As implicações a respeito dessa diversidade de códigos e a explicação para a prevalência de um código específico será retomada no item 2.4.4.

Ao contrário da informação de Shannon, que é bidirecional, a informação semântica flui apenas do DNA para as proteínas, nunca das proteínas para o DNA, apesar de ambas fluírem na direção horizontal. Acrescenta-se que a informação semântica se limita às proteínas como produto final da leitura do código genético, restringindo a abrangência da explicação ao nível molecular: o DNA não representa fenótipos ao nível orgânico (GODFREY-SMITH, 2008, p. 110).

Além disso, ao invés de os genes constituírem entidades descritivas, eles fornecem instruções. Esta concepção permitiu a caracterização dos genes em termos de um programa genético que controla o desenvolvimento e a produção de proteínas. Além de possuir as instruções de qual proteína deve ser produzida, os genes também possuiriam a informação das

condições em que essa proteína deve ser produzida (SHEA, 2007). A discussão da abordagem como programa genético também permanece controversa: enquanto alguns enxergam valor explicativo, outros defendem o abandono (PLANER, 2014).

A informação semântica é genecentrada, uma vez que atribui aos genes uma propriedade especial de causação do fenótipo. Por mais que fatores do ambiente celular sejam indispensáveis para a produção de um fenótipo, como as enzimas, por exemplo, ao aceitar que existe uma relação de representação entre códons e aminoácidos, a forma como o gene determina o genótipo passa a ser diferente da forma como o ambiente celular o determina (GODFREY-SMITH, 2008).

Tanto Maynard Smith (2000, p. 178) como Godfrey-Smith (2008, p. 114-5), ao apresentarem a concepção de informação semântica, não se posicionam a respeito de ser ou não uma metáfora, apesar de em diversos momentos referirem-se à informação como uma analogia.

Sarkar (2000) diferencia dois modos de usar um conceito. A forma heurística é aquela em que o conceito ajuda na construção de uma entidade científica, e a forma substantiva é aquela em que o conceito existe explicitamente como uma entidade objetiva. Diante destas duas formas, Sarkar estabelece critérios para aceitar a validade substantiva da informação semântica e conclui que ela não atende a todos eles (apenas à semioticidade, que diz respeito à relação simbólica do código genético). O autor posiciona-se dizendo que essa abordagem já desempenhou um papel heurístico na Biologia Molecular, porém, atualmente esse papel foi perdido e, tampouco, exista um uso substantivo desse conceito (SARKAR, 2000).

O caráter simbólico do código genético é interpretado pela Biossemiótica como uma natureza sêmica que está presente em diversos fenômenos biológicos, não apenas no código genético (EMMECHE, 1991). O conceito de signo adotado nesta abordagem é aquele proposto a partir do signo triádico de Charles Sanders Peirce (1839-1914):

A sign, or Representamen, is a First which stands in such a genuine triadic relation to a Second, called its Object, as to be capable of determining a Third, called its Interpretant, to assume the triadic relation to its Object in which it stands itself to the same Object (PEIRCE, 1955, p. 99-100 apud. EMMECHE, 1991).

Desta forma, Emmeche (1991) admite a existência imanente de signos naturais nos fenômenos biológicos que envolvem comunicação, processamento de informação, código, trocas de sinais e interpretação, fundamentando o conceito de realismo semiótico. Para o

autor, a teoria de Peirce não deve se limitar a uma abordagem instrumentalista, uma vez que os signos existem independentemente de uma consciência que os interprete (EMMECHE, 1991).

Ainda na abordagem da informação semântica, alguns pesquisadores reificaram a informação, conforme será discutido no próximo item.

2.4.3 Informação reificada

A nebulosidade que permeia este termo fez com que a informação fosse reificada dentro da Biologia. Williams (1992) afirma que a informação se trata de um elemento fundamental do universo, existindo em seu domínio próprio, assim como matéria e energia. Propõe-se, assim, que os genes sejam literalmente produzidos de informação.

A fim de desvendar algumas incompatibilidades aparentes e melhor fundamentar o debate a respeito desse conceito, Bergstrom e Rosvall (2011a) propuseram a abordagem de informação no sentido de transmissão.

2.4.4 Informação transmissiva

No conceito de informação transmissiva, os autores redirecionaram o foco do problema ao dizer que a questão central a ser respondida não está relacionada com o conteúdo ou com a representação, conforme proposto pela abordagem semântica, mas sim com a forma como a informação é eficientemente empacotada para ser transportada. Assim, resgatando a teoria de Shannon sobre redução de incertezas, a informação poderia ser definida como “aquilo que um agente empacota para transmitir, por meio de um canal, para reduzir a incerteza de quem a recebe” (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 164, tradução nossa). O principal enunciado da informação no sentido de transmissão é que “um objeto X carrega informação se a função de X é reduzir, por meio de suas propriedades sequenciais, a incerteza da parte de um agente que observa X” (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 159, tradução nossa).

Os idealizadores deste modelo explicam que a informação poderia ser enviada por meio do tempo, quando o agente que envia é o mesmo que recebe, porém, em um tempo diferente; ou pelo espaço, quando um agente envia para outro que está em um espaço diferente, mas este evento acontece no mesmo tempo.

Os termos utilizados pelos autores impõem a necessidade de definir quem seria o emissor e o receptor desta mensagem que está sendo enviada. Se fosse aplicada à teoria da informação semântica, o receptor da mensagem seriam as enzimas que realizam a tradução. Entretanto, no sentido de transmissão, o fluxo da informação não segue a linearidade do

Dogma Central da Biologia Molecular. O eixo de transmissão é alterado e passa a ser transgeracional. Assim, o emissor da mensagem seria o organismo parental e o receptor seria o organismo descendente. A mensagem contida no DNA são as instruções para que a nova célula embrionária dê origem a um novo organismo (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; GODFREY-SMITH, 2011).

A principal contribuição da proposta de Bergstrom e Rosvall (2011a) foi alicerçar dados empíricos para afirmar que a função do DNA é transmitir informação. Uma vez que o código genético é quimicamente arbitrário, ou seja, a relação que existe entre códon e aminoácido não é determinada por um princípio químico (STEGMANN, 2004), existiram outras possibilidades de código que não o que conhecemos. Inclusive, atualmente, ainda existem alguns deles, como citado anteriormente. Desta forma, conforme alguns experimentos indicam, a prevalência de um código genético particular na maioria das populações explica-se a partir de uma narrativa de seleção natural (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a). Se um determinado códon especifica um aminoácido particular é porque esta relação é metabolicamente eficiente: evita o congestionamento de RNAr e evita a produção de metabólitos tóxicos para a célula, aumentando o *fitness* de seus portadores, em detrimento da diminuição de *fitness* daqueles indivíduos que apresentam códigos distintos. A partir destas evidências, Bergstrom e Rosvall afirmam que a função da molécula de DNA é transmitir informação (2011a).

A proposta da informação no sentido de transmissão foi alvo de diversos comentários de outros filósofos que não só a aceitaram, como ainda fizeram contribuições para sua fundamentação (GODFREY-SMITH, 2011; MACLAURIN, 2011; STEGMANN, 2013). Conforme os autores da proposta reiteram, eles abordam o DNA como sendo uma molécula que contém informação no sentido literal e não metafórico:

Nós não estamos dizendo que é *como se* genes carregassem informação, nós estamos dizendo que genes *carregam* informação, e que o papel deles como carregadores de informação é evidente a partir de sua estrutura e função. (BERGSTROM; ROSVALL, 2011b, p. 195, tradução nossa).

Uma analogia para entender o caráter transmissivo da molécula de DNA é formulada por MacLaurin (2011). O DNA seria como as bibliotecas aos olhos dos bibliotecários, e não aos olhos da população ou daquilo que elas representam para uma universidade. O conteúdo armazenado não é necessariamente o que existe de mais importante em uma biblioteca para seus funcionários, mas sim a forma como os livros estão organizados e catalogados de uma

forma eficiente, que permite rápida consulta e acesso ao acervo. A riqueza desta forma de organização é percebida de maneira mais imediata e valorizada apenas pelos bibliotecários. Assim, a molécula de DNA também armazena a informação de forma eficaz para ser eficientemente acessada (MACLAURIN, 2011).

Bergstrom e Rosvall (2011b) respondem explicando que não importa sob qual ótica a biblioteca está sendo analisada (se é pelo bibliotecário, pelos gestores da universidade ou por um cidadão). O mais importante é a forma como a sua organização permite o diagnóstico de que aquela instituição consiste em uma biblioteca, cuja função é armazenar e facilitar o acesso à informação que nela está contida. Analogamente, a estrutura e função da molécula de DNA são diagnósticas para seu caráter transmissivo (BERGSTROM; ROSVALL, 2011b).

Godfrey-Smith (2011) pressiona Bergstrom e Rosvall a posicionarem-se a respeito do conteúdo da informação que está sendo transmitida, dizendo que esta pergunta é importante para a Biologia. O primeiro considera que o conteúdo da mensagem sejam as instruções para a produção de proteínas e que a mensagem depende da natureza do emissor e do receptor, ou seja, tanto a emissão quanto a interpretação da mensagem dependem intrinsecamente da capacidade, no caso, química, de emití-la e produzi-la (GODFREY-SMITH, 2011). Os autores respondem explicando que é evidente que o conteúdo dessa informação seja importante para responder perguntas centrais da Biologia, mas reconhecem que a contribuição de sua proposta se limita a fornecer subsídios empíricos que permitam diagnosticar o DNA como uma molécula que transmite informação a partir de sua estrutura e função (BERGSTROM; ROSVALL, 2011b).

Assim como na informação transmissiva, existe outro conceito de informação que explica a transmissão em um eixo vertical: ela flui da geração parental para os descendentes, conforme será discutido a seguir.

2.4.5 Informação evolutiva

Esta concepção assume que existe de fato informação biológica codificada no DNA e que a Ciência está tentando acessá-la por meio de modelos, conforme sugerido pelas seguintes frases: “*Genomes are ultimately strings of symbols*”, “*Clearly, the message encoded in the genome is of a different nature*”, e “*These simple considerations allow one to naturally quantify meaningful information contained in sequences*” (KOONIN, 2016, p. 2).

A construção desta teoria parte da equação da entropia de Shannon, mas a considera insuficiente para explicar a informação presente no DNA. Koonin (2016) propõe que o significado dessa informação consiste na função biológica de uma sequência de bases

nitrogenadas. A principal forma de acessar esse significado é por meio da comparação de sequências homólogas, conforme a abordagem de pesquisa da Genômica Comparativa. Se se identifica que houve seleção natural na manutenção de determinada sequência a partir da análise comparativa, conclui-se que aquela região é significativa e, quanto mais forte tiver sido o efeito da seleção, mais significativa a região será (KOONIN, 2016, p. 3).

Uma vez que a informação emerge somente a partir da comparação evolutiva, ou seja, da comparação entre sequências de DNA localizadas em regiões distintas da árvore da vida, o sentido de fluxo de informação é vertical.

Resgata-se a teoria matemática de Shannon para fundamentar uma abordagem metodológica para quantificar a diferença de informação entre duas sequências, bem como mensurar a diferença de densidade de informação biológica. Este último conceito consiste na quantidade de informação (significado, função biológica) por região do gene. Utilizando essa metodologia, conclui-se que procariotos apresentam uma densidade de informação no genoma maior que eucariotos, que possuem muitas regiões do gene que não especificam proteínas. Entretanto, para a complexidade dos fenótipos, o conceito de densidade de informação não se mostra determinante, importando, portanto, a quantidade total de informação (KOONIN, 2016, p.4).

Assim, a abordagem da informação biológica evolutiva consiste na construção de um modelo matemático que permita comparar as diferenças existentes entre as informações contidas nas diferentes formas de vida.

As propostas de abordagem do DNA até aqui discutidas, consideram que a dimensão informacional dessa molécula é um fenômeno literal e não metafórico. Diante deste debate, há ainda uma sexta corrente que considera que os conceitos informacionais consistem em uma linguagem metafórica, conforme será discutido a seguir.

2.4.6 Informação fictícia

Devido ao seu caráter de metáfora liminal, ou seja, aquela que geralmente passa despercebida, Levy (2011) propõe-se a defender que os conceitos informacionais são metafóricos e discute se eles devem ter poder explanatório na Biologia contemporânea. O autor dialoga diretamente com a concepção de Shannon e com a concepção semântica e não se limita a investigar a informação genética, mas, também, a informação presente em outros campos da Biologia, como a regulação hormonal e a fisiologia celular.

São levantados três principais argumentos para sustentar a proposta de que a informação na Biologia seja uma metáfora. Primeiro, Levy (2011) explica que a abordagem

semântica não é plausível ao atribuir uma dimensão evolutiva para a transmissão da informação, ou seja, um eixo transgeracional. Essa falta de plausibilidade reside no fato de não fazer sentido defender a dimensão evolutiva se os conceitos informacionais são acionados para explicações fisiológicas da síntese de proteínas (LEVY, 2011, p. 646). Segundo, a descrição de genes como carregadores de informação evoca uma linguagem intencional, pois ao dizer que há um agente que enviou uma mensagem a um receptor, está implícita nesta ação uma intencionalidade, o que não se aplica a uma molécula (LEVY, 2011, p. 647). Terceiro, há um cuidado com o uso dos conceitos informacionais para descrever o DNA que sugere que esses conceitos não estejam sendo empregados de forma literal (ibid.).

Apesar dessas incompatibilidades entre a linguagem e o fenômeno, Levy (2011) posiciona-se a favor do uso da metáfora, uma vez que, ao empregá-la, é possível conhecer aspectos não metafóricos que estão presentes na molécula de DNA, como por exemplo, que a molécula é fundamental para a produção de proteínas e que existe uma relação entre códons e aminoácidos. Entretanto, essa linguagem deve ser empregada com parcimônia, tendo em vista que pode gerar determinismo genético e reificação da informação, conforme foi discutido anteriormente (ibid.).

As abordagens apresentadas, com pretensão de metáfora ou explicação literal da realidade, consideram que o DNA é/carrega informação. A última concepção a ser apresentada, ainda que discuta os conceitos informacionais, propõe uma mudança de paradigma.

2.4.7 Jogos de sinalização

Apesar da diversidade conceitual existente atualmente para o conceito de gene (ANDRADE; MEGHLIORATTI; CORRÊA, 2020; BROMHAM, 2016), para a construção desta concepção, um gene foi considerado como a sequência de DNA que especifica uma proteína mais a região promotora (PEARSON, 2006, apud. PLANER, 2014).

Considera-se que a analogia do DNA como um programa genético é inadequada para explicar a natureza dos genes. Nesta analogia, o DNA funciona como um programa de computador, que trabalha com variáveis “*IF-THEN*” (SE-ENTÃO). A informação contida na sequência de um gene, poderia ser interpretada da seguinte forma: a metade “*IF*” é análoga à instrução da região promotora e a metade “*THEN*” é a análoga à informação da proteína que será produzida. Assim, o gene poderia ser lido: “*IF*” a região promotora ligar-se à uma proteína promotora da transcrição, “*THEN*” a região do “molde” da proteína deve ligar-se à RNA-polimerase e iniciar a síntese de proteínas (PLANER, 2014, p. 35-36).

Planer (2014, p. 39) critica essa analogia por conta da complexidade das relações existentes no ambiente molecular da célula extrapolar a linearidade sugerida pela programação, que é lida linha por linha em um computador. Além disso, nas células não existe um “leitor” em si, que interpreta aquilo que está registrado na sequência de DNA (PLANER, 2014, p. 41-42).

Diante de tais incompatibilidades, o autor recomenda o abandono da analogia de genes como programa genético e, ao invés disso, sugere uma nova abordagem a partir de jogos de sinalização (*signaling games*). Nesta teoria, as proteínas que se associam às regiões promotoras funcionam como sinais. A existência de um sinal sendo enviado torna imperativa a existência de um agente que envia e de outro que recebe. O remetente pode ser um gene que codifica uma proteína que funciona como fator de transcrição; ou pode ser hormônio ou outra molécula do interstício que funcione como um indutor da transcrição. O receptor é um outro gene, que ao associar-se com os fatores de transcrição necessários, produz tanto proteínas metabólicas e estruturais, como outras proteínas que também funcionam como fatores de transcrição para outros genes (PLANER, 2014).

Na abordagem dos jogos de sinalização, Planer propõe uma mudança de paradigma importante para o debate a respeito da informação. Ao invés dos genes serem concebidos como entidades que carregam/são produzidos de informação, eles deveriam ser concebidos como os próprios leitores da informação, e esta, por sua vez, não é a sequência de bases nitrogenadas, mas sim, as proteínas e demais moléculas que funcionam como fatores de transcrição (PLANER, 2014, p.51-52).

A concepção dos jogos de sinalização, que interpreta os genes como processadores de informação, representa o fluxo de informação num sentido fisiológico, apesar da herdabilidade desses processadores ter implicações evolutivas. A pretensão dessa teoria é declaradamente metafórica, conforme enunciado pelo autor: “*The complex structure of genes, and in particular of gene promoters, makes the application of the signaling games framework anything but metaphorical*” (PLANER, 2014, p. 46).

Uma vez descritas estas sete principais concepções informacionais, percebe-se a complexidade do debate filosófico a respeito dessa temática. A fim de investigar as implicações epistemológicas de cada corrente no ensino, bem como de mapear a produção científica a respeito do tema, a seguir serão descritos os referenciais metodológicos que estruturam esta pesquisa.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 PESQUISA QUALITATIVA

A pergunta deste trabalho demanda uma metodologia de pesquisa qualitativa. Patton (2002) descreve doze aspectos desta abordagem categorizando-os em três categorias que serão discutidas a seguir.

A primeira categoria, consiste nas estratégias de planejamento, ou no desenho experimental. Estes estudos levam em consideração 1) o caráter naturalista da investigação, o que significa que o fenômeno será pesquisado da forma como ele acontece no mundo real, sem que o pesquisador manipule qualquer variável. Qualquer elemento que emergir durante o estudo será objeto de investigação. Desta forma, a pesquisa qualitativa se opõe a experimentos controlados, em que todas as variáveis são conhecidas e predeterminadas (PATTON, 2002).

Diante disso, 2) o planejamento deve ser emergente e flexível: uma vez que novas informações surgem, provocando uma mudança na situação ou um aprofundamento na questão de pesquisa, o investigador tem abertura para adaptar o planejamento. Para atingir o objetivo de um trabalho de caráter qualitativo, 3) a amostragem escolhida deve ser intencional, o que significa que ela não é determinada por ser generalizável, mas por possuir uma riqueza de informações, proporciona uma compreensão profunda a respeito da manifestação do fenômeno (PATTON, 2002).

“Coleta de dados e estratégias de campo” consiste na segunda categoria estruturada pelo autor. 4) A natureza dos dados coletados é qualitativa, podendo ser uma observação detalhada, uma descrição, uma revisão de um documento, a perspectiva de uma pessoa a respeito de uma experiência, uma entrevista, entre outras. Não se trabalha com variáveis que podem ser mensuradas, mas sim com informações que descrevem um fenômeno ou contam uma história. Outro aspecto a ser levado em consideração é 5) a experiência e o engajamento pessoal do pesquisador, uma vez que sua vivência exercerá influência no seu entendimento do fenômeno estudado. Tal influência deve ser reconhecida e, na medida do possível, minimizada por meio da 6) empatia durante uma entrevista, buscando ausência de julgamentos, sensibilidade e respeito. Por último, na produção dos dados, é importante que o pesquisador se atente à 7) dinamicidade do sistema, uma vez que o indivíduo, organização, comunidade ou cultura está se transformando durante o tempo todo, tais mudanças devem ser registradas e levadas em consideração (PATTON, 2002).

A última categoria apresentada pelo autor são as estratégias de análise. 8) Cada fenômeno estudado consiste em um caso único, um retrato situado no tempo-espço, em uma

dada cultura em determinado momento político. O pesquisador deve capturar todas as particularidades do caso individual no qual está trabalhando. A pesquisa qualitativa consiste em um processo de descoberta e exploração, da qual faz parte uma 9) análise indutiva, que resulta em uma síntese criativa do pesquisador, uma vez que cada um possui sua maneira única de trabalhar e atribuir significados aos dados obtidos. Esta análise demanda uma 10) perspectiva holística: o fenômeno deve ser investigado em sua totalidade, pois representa uma emergência que extrapola a mera soma das partes que o compõe. 11) Caracteriza-se assim o caráter contexto dependente, dos resultados de pesquisa qualitativa. Ao situá-los em um contexto social, histórico e temporal, é preciso ter cautela nas generalizações. Por último, o pesquisador deve ser reflexivo sobre sua 12) própria perspectiva: é impossível destilar a investigação, eliminando a influência do pesquisador, dessa forma é preciso ter consciência sobre a subjetividade (PATTON, 2002).

Dessa forma, as etapas metodológicas seguidas neste trabalho serão: i) a análise indutiva; seguida de ii) uma síntese criativa. Tendo em vista a diversidade de teorias que fundamentam a pesquisa qualitativa em educação, este trabalho pautar-se-á na produção de dados por meio da análise de conteúdo, conforme será discutido no item a seguir.

3.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Dentre diversas técnicas de pesquisa qualitativa que atendem a diferentes objetivos de investigação, para este trabalho consideramos pertinente a análise de conteúdo (PATTON, 2002). O conhecimento científico, objeto que intentamos investigar, está assentado materialmente nos periódicos científicos (MARTÍNEZ, 2003). A publicação de artigos é uma das principais formas de comunicação dentro da comunidade de pesquisadores. Esta forma de comunicação apresenta como características um código linguístico em suporte escrito, e as pessoas envolvidas nestas atividades compõem um grupo restrito (pesquisadores). Dadas estas particularidades da forma como o conhecimento científico é comunicado, os artigos constituem um domínio passível de análise de conteúdo (BARDIN, 2016, p. 38-40).

O surgimento desta técnica de pesquisa aconteceu a partir de um contexto de rompimento com as abordagens de pesquisa tradicionais. Havia a necessidade de processos técnicos de validação de dados a partir da interpretação por meio da hermenêutica, da lógica e da retórica (BARDIN, 2016, p. 19). Desta forma, pode-se dizer que a análise de conteúdo trouxe rigor para superar interpretações espontâneas e aprofundar as inferências para além das aparências (BARDIN, 2016, p.33). Bardin (2016) explica que o objetivo desta técnica consiste na inferência, ou seja, sustentar uma interpretação de forma objetiva.

Esta técnica de pesquisa permite a identificação de padrões ou categorias em textos por meio da redução da informação qualitativa e da atribuição de sentido (PATTON, 2002, p. 452). O trabalho da busca de padrões que emergem a partir de um conjunto de dados consiste em uma análise indutiva. A abordagem da análise de conteúdo consiste em elaborar um sistema de classificação com categorias que permitam acomodar os padrões identificados nos dados. O objetivo inicial de categorizar os dados é descrever os padrões encontrados (PATTON, 2002).

Bardin (2016) divide a análise de conteúdo em três etapas: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento e a organização. A etapa de pré-análise consiste no planejamento. Em primeiro lugar, realiza-se a leitura flutuante do material para familiarização. Em seguida, escolhe-se os documentos a serem analisados. Eles devem obedecer a algumas regras: a exaustividade (incluir todos os materiais com rigor); a representatividade (amostragem); a homogeneidade (não serem específicos demais); e a pertinência (devem atender aos objetivos) (BARDIN, 2016, p. 126-128). Uma vez selecionado o material, Bardin (2016) recomenda a definição de hipóteses e objetivos, trabalhando com procedimentos fechados (testar hipóteses definidas *a priori*), ou procedimentos abertos (construir as hipóteses ao longo do procedimento). Em seguida, deve-se escolher índices, ou seja, unidades de comparação para análise e codificação. A última etapa da pré-análise consiste em preparar o material: editar e/ou formatá-lo (BARDIN, 2016).

A etapa de codificação objetiva tratar os dados com a finalidade de melhor representá-los e explicitar aspectos invisíveis nos dados brutos (BARDIN, 2016, p. 133). Uma vez definida a fonte dos dados, deve-se preparar o material e elaborar um sistema de códigos a partir da leitura do documento a ser analisado, fazendo anotações da forma como determinados trechos podem ser utilizados no trabalho (PATTON, 2002). Enquanto as primeiras leituras permitem identificar quais códigos existem, as leituras posteriores permitem codificar os dados. Para isso, devem ser definidas as regras de recorte da unidade de registro e unidade de contexto. A unidade de registro consiste na unidade semântica a ser categorizada, podendo ser a palavra, o tema, o personagem, o documento; enquanto a unidade de contexto consiste no segmento da mensagem que permita a significação da unidade de registro (BARDIN, 2016, p. 134-137). Na sequência, cada unidade de registro é codificada.

Posteriormente à etapa de codificação, as unidades encontradas devem ser agrupadas e ordenadas em categorias, a depender da forma como elas convergem (PATTON, 2002). As categorias devem apresentar homogeneidade interna, ou seja, dentro de cada categoria

existem significados compartilhados; e heterogeneidade externa, ou seja, as diferenças entre as categorias devem ser evidentes (ibid.).

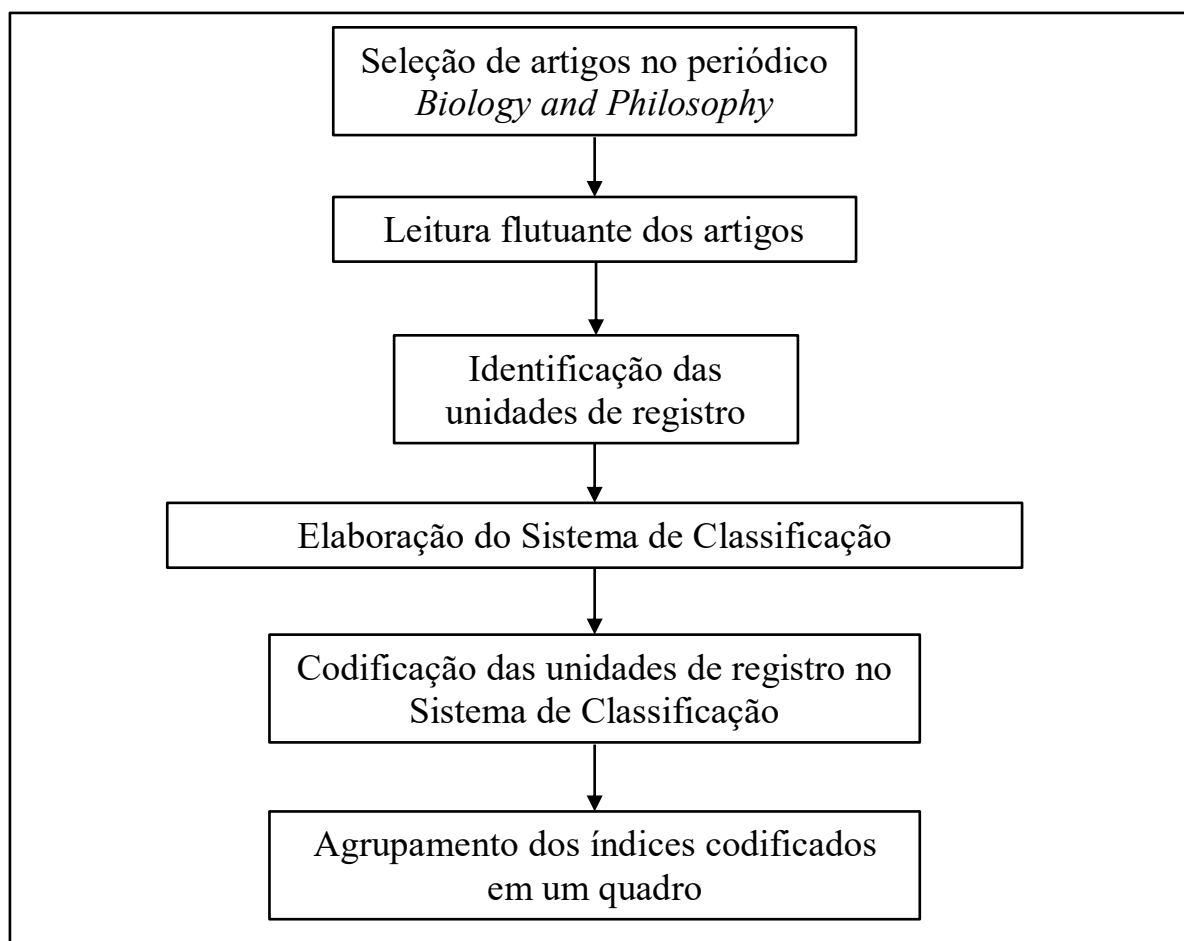
Patton (2002) ainda indica que o sistema de classificação deve ter plausibilidade interna e externa; deve dar conta de incluir os dados existentes; e a organização dos dados nas categorias deve fazer sentido para um observador. Após a etapa da classificação dos dados dentro de um sistema de classificação, constitui-se uma dimensão. Uma segunda dimensão pode emergir a partir de um outro sistema de classificação, permitindo o cruzamento dos resultados em duas dimensões por meio de uma análise lógica, oferecendo novos *insights* a respeito da forma como os dados podem ser organizados (PATTON, p. 468).

Na etapa final da inferência, a partir da análise realizada, colocou-se em evidência aspectos que estavam subjacentes aos dados brutos, tornando possível realizar induções a partir dos padrões encontrados (BARDIN, 2016).

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

A aplicação do referencial metodológico descrito anteriormente para responder à nossa pergunta de pesquisa foi conduzida a partir de um movimento de análise indutiva seguida de síntese criativa, divididas em três etapas que serão descritas nos itens a seguir: seleção de artigos; pré-análise; e agrupamento dos códigos em categorias. O percurso metodológico está sintetizado no Quadro 1 a seguir e será explicado detalhadamente nas seções seguintes.

Quadro 1. Diagrama do percurso metodológico desta pesquisa. Cada caixa está detalhadamente explicada nas seções seguintes.



Fonte: elaborado pelo autor

3.3.1 Seleção de artigos

A fonte a partir da qual os dados de uma pesquisa são encontrados é definida pela pergunta de investigação (PATTON, 2002, p. 280). Tendo em vista nosso objetivo de identificar os usos dos conceitos informacionais no conhecimento científico, consideramos como fonte de dados desse conhecimento os artigos publicados em periódicos específicos da área de Filosofia da Biologia (MARTÍNEZ, 2003).

A seleção dos artigos investigados seguiu as seguintes etapas: a) levantamento inicial de artigos a partir de critérios de busca; b) leitura dos títulos dos trabalhos, c) leitura dos resumos e palavras-chave para exclusão daqueles que não estivessem relacionados à discussão epistemológica a respeito de informação genética, d) busca pelas palavras “*information*”, “*genetic*” e “*DNA*” no corpo dos artigos, utilizando a ferramenta de busca no documento. Foram incluídos na amostra para leitura e codificação aqueles que atenderam às quatro etapas de seleção.

Na primeira etapa, levantamento inicial, foi colocada a necessidade de tomada de decisão a respeito de buscarmos artigos em bases de dados, como *Scielo*, *Scopus* e *ScienceDirect*; ou buscar em periódicos específicos da área. Para isso, realizamos uma pesquisa exploratória para fundamentar tal escolha. Na base de dados *ScienceDirect*, que permite combinar entradas lógicas (*AND*, *NOT* e *OR*) no campo de palavras-chave a serem encontradas no título, *abstract*, ou palavras-chave especificadas pelo autor, a seguinte entrada foi efetuada nesse campo de busca: [“*information*” *AND* (“*biology*” *OR* “*genetic*” *OR* “*genes*”) *AND* (“*philosophy*” *OR* “*philosophers*” *OR* “*concept*” *OR* “*language*” *OR* “*term*”)], objetivando direcionar uma busca relacionada à discussão filosófica do termo “informação genética” na Biologia. O período de tempo foi endereçado entre os anos de 2000 e 2020, que marcam o início do acaloramento da discussão a partir da publicação de Maynard-Smith (2000), até os dias atuais, uma vez que o debate ainda está sem desfecho.

Esta busca resultou em 2349 resultados. A leitura de títulos e resumos desta quantidade de artigos apenas para a seleção daqueles que seriam lidos na íntegra seria inviável para o período de tempo determinado para esta pesquisa, principalmente porque a maioria dos resultados consistia em trabalhos que não pertenciam ao escopo da investigação. A maior parte dos trabalhos encontrados consistiam em investigações empíricas das áreas de Genética e de Biologia Molecular, ao invés de discutirem a epistemologia dos conceitos informacionais de forma explícita. Diante deste cenário, foi tomada a decisão de pesquisar em periódicos específicos da área de Filosofia da Biologia.

O periódico escolhido para a seleção dos artigos foi o *Biology and Philosophy*¹, revista indexada na base de dados *Springer*². A escolha justifica-se por tratar-se de um periódico específico da área de Filosofia da Biologia, e não da área mais ampla de Filosofia da Ciência; e também pelo fato de que alguns artigos encontrados na revisão de literatura inicial para esta pesquisa terem sido publicados nesta revista (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; EMMECHE, 1991; GODFREY-SMITH, 2011; PLANER, 2014; STEGMANN, 2004).

No site de busca deste periódico, utilizamos o recurso “busca avançada”. No campo de pesquisa “*with at least one of the words*”, inserimos a entrada “*information*” e restringimos o período de tempo entre 2000 e 2020. A busca retornou 762 resultados. Cada um dos resultados encontrados foi submetido aos seguintes filtros:

¹ <https://www.springer.com/journal/10539>

² <https://link.springer.com/>

i) O título, as palavras-chave ou o resumo apontam para uma discussão epistemológica sobre os conceitos informacionais na Genética? Em caso afirmativo, o artigo foi incluído na amostra; caso contrário o artigo era submetido ao próximo filtro:

ii) Usando o recurso de busca no documento (ctrl + F), buscamos pelas palavras “*information*”, “*DNA*” e “*genetic*”. Quando o resultado dessas buscas apontava parágrafos que discutiam o uso dos conceitos informacionais na Biologia, o artigo em questão foi incluído na amostra, caso contrário, foi considerado fora de escopo.

iii) Não foram incluídos trabalhos da categoria “*book review*”, apenas “*articles*”.

Dos 762 resultados iniciais, apenas 28 foram incluídos na amostra após passar pelos critérios de seleção. Cada artigo foi salvo com o nome “BP ANO AUTORES”, para organizá-los em ordem numérica-alfabética. A lista dos artigos amostrados encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2. Lista dos artigos incluídos na amostra após busca na base de dados do periódico *Biology and Philosophy* entre 2000 e 2020. A primeira coluna indica o código do artigo, e a segunda coluna apresenta os respectivos anos de publicação e autores dos artigos em ordem numérica-alfabética.

Nº do artigo	Ano e autor(es)
BP01	2004 STEGMANN
BP02	2005 BLUTE
BP03	2007 GODFREY-SMITH
BP04	2007 KJOSAVIK
BP05	2007 KNIGHT
BP06	2007 SHEA
BP07	2008 KAUFFMAN et al.
BP08	2008 PRIDMORE
BP09	2010 ROBINSON; SOUTHGATE
BP10	2011A BERGSTROM; ROSVALL
BP11	2011B BERGSTROM; ROSVALL
BP12	2011 GODFREY-SMITH
BP13	2011 MACLAURIN
BP14	2011 SHEA
BP15	2012 HAIG
BP16	2012 STEGMANN
BP17	2012 WILKINS; STANYON; MUSGRAVE
BP18	2013 MOSINI
BP19	2013 ROHWER; BAROTT
BP20	2013 STEGMANN
BP21	2014 HAIG
BP22	2014 KJOSAVIK
BP23	2014 LEAN
BP24	2014 PLANER
BP25	2015 AUSTIN
BP26	2016 BROMHAM
BP27	2017 COFNAS
BP28	2020 KÕIV

Fonte: elaborado pelo autor.

Após os artigos terem sido selecionados e a amostra ter sido finalizada, os documentos foram submetidos a uma leitura prévia para a elaboração do sistema de classificação, conforme será descrito na seção seguinte.

3.4 PRÉ-ANÁLISE

Nesta seção descreveremos a etapa de pré-análise da análise de conteúdo. No item 3.4.1, delimitamos nossos objetivos e hipóteses iniciais; em 3.4.2, descrevemos nossas regras de recorte dos artigos selecionados; e em 3.4.3 indicamos o sistema de classificação, apresentando os códigos utilizados e critérios de inclusão.

3.4.1 *Objetivos e hipóteses*

O emprego da análise de conteúdo teve como objetivos responder a duas perguntas: “qual é a estrutura das explicações informacionais a respeito do DNA?” e “quais as concepções existentes na literatura a respeito de “informação genética”?”.

As hipóteses iniciais que objetivamos validar foram as seguintes: (1) existe uma ausência de consenso a respeito do uso desses termos na literatura científica; (2) a hipótese 1 pode ser justificada pelo fato de que o termo “informação genética” consiste em uma polissemia; (3) nem sempre há consciência se o uso desse termo é metafórico ou denotativo; e (4) o debate a respeito do caráter metafórico ou denotativo nem sempre compromete a prática científica em termos técnicos, porém, a falta de precisão epistemológica pode limitar o avanço científico e tecnológico, bem como comprometer o ensino-aprendizagem.

3.4.2 *Regras de recorte*

Consideramos como unidade de registro a ser incluída na amostra como material a ser analisado, qualquer fragmento do texto que qualifique “informação genética”. Para que essas unidades pudessem ser identificadas, consideramos como unidade de contexto o parágrafo em que o fragmento de texto estava presente. Desta forma, para realizar os recortes de análise, identificamos como unidades de significação os enunciados ao redor do tema-eixo “informação” e “DNA/RNA/genes/genótipo”. A partir destes temas centrais, os enunciados que os qualificavam foram considerados como índices e submetidos ao tratamento de codificação e análise.

Cada unidade de registro foi codificada sob um índice “BPXUY”, em que as duas primeiras letras do índice representam o periódico em que o artigo foi encontrado BP = *Biology and Philosophy*. O número que aparece após as iniciais do periódico (X) representa o número do artigo em ordem numérica-alfabética como foram salvos e indicados no Quadro 1.

Seguido do número do artigo, aparece a letra U no índice, que representa “unidade de registro”. Por último, seguido da letra U, aparecem o número da unidade no artigo (Y). A Figura 1 exemplifica como interpretar os índices.

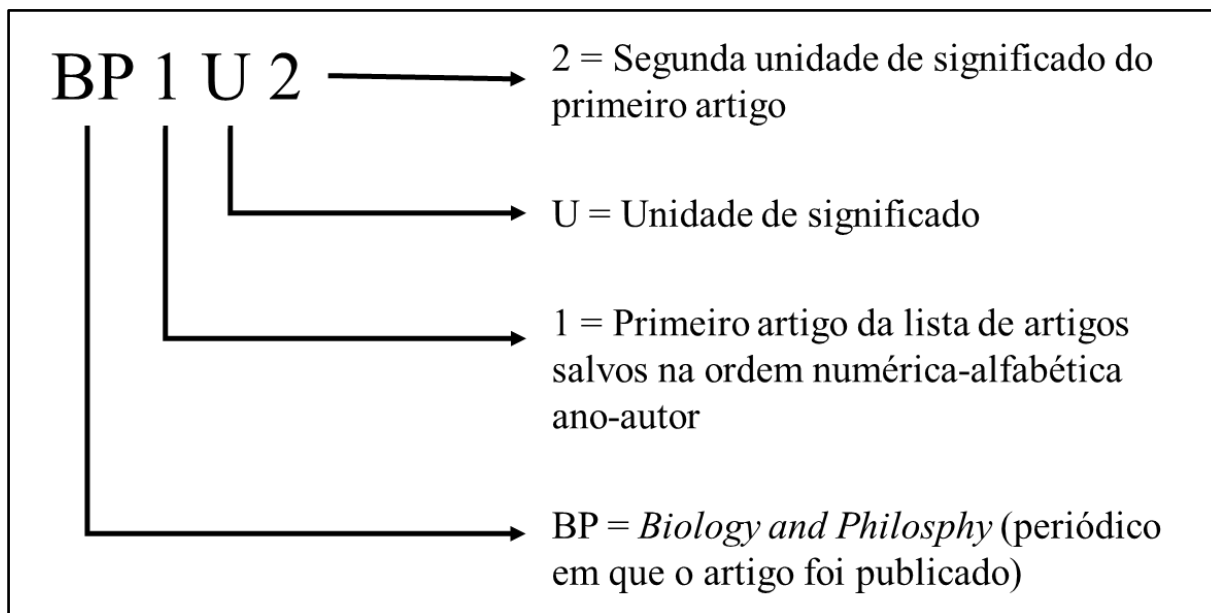


Figura 1. Instrução de como interpretar os índices sob os quais foram codificadas as unidades de significado. As duas primeiras letras “BP” indicam o nome do periódico; o número seguinte indica o número do artigo (1); a letra “U” representa “unidade de significado”; e o número seguinte representa a ordem de aparecimento dessa unidade de significado no artigo em questão (2). Neste exemplo, a unidade de significado “BP1U2” trata-se da segunda unidade de significado que foi identificada no primeiro artigo. Fonte: elaborado pelo autor.

Após a etapa de identificação das unidades de registro, identificamos que a palavra “informação” aparecia em quatro significados distintos, permitindo a elaboração de um sistema de classificação, que será descrito a seguir.

3.4.3 Sistema de classificação: Os quatro significados de “informação genética”

A leitura dos artigos permitiu que identificássemos que os autores nem sempre discutiam “informação genética” com um mesmo significado, o que gerou divergências dentro do debate filosófico e que, portanto, este termo trata-se de uma polissemia, como será discutido na seção 4.2.1 deste trabalho. Pudemos identificar os seguintes significados para os quais o termo “informação genética” foi usado nas discussões:

1. Informação organizacional-molecular: dados acerca da forma como a matéria está organizada no tempo e no espaço;
2. Informação genética propriamente dita: descrição da estrutura e funcionamento dos ácidos nucleicos;

3. Informação ambiental: variáveis do ambiente que causam reações específicas e distintas nos ácidos nucleicos.
4. Informação científica: programa de pesquisa, ou seja, um conjunto de técnicas, métodos e abordagens teóricas, que permitem que os seres humanos colem dados acerca dos ácidos nucleicos e façam previsões e manipulações de fenômenos biológicos.

Estes significados serão discutidos em maiores detalhes na seção de resultados e discussão. Uma vez identificados, decidimos elaborar um sistema de classificação para codificar as unidades de registro. Este sistema foi denominado Sistema de Classificação dos Significados de “informação genética” e apresenta quatro códigos:

- a) Refere-se à “informação organizacional/molecular”
- b) Refere-se à “informação genética propriamente dita”
- c) Refere-se à “informação ambiental”
- d) Refere-se à “informação científica”

Houve unidades de registro em que identificamos que havia mais que um significado, podendo ser um caso ambíguo (os significados poderiam ser um ou outro) ou um caso polissêmico (os significados eram um e outro). Entretanto, pela quantidade de dados encontrados (396 unidades de registro categorizadas), decidimos nos dedicar na análise apenas daquelas unidades que apresentaram somente um significado.

O Quadro 3 apresenta as categorias do sistema de classificação e indica exemplos de unidades textuais que permitiram o diagnóstico dos índices (unidades de registro).

Quadro 3. “Sistema de Classificação: significados de “informação genética”” utilizado para a codificação das unidades de registro. Em cada categoria (a, b, c, d), estão apresentados exemplos de fragmentos textuais que permitiram a codificação de uma unidade de registro sob aquele código. Os fragmentos textuais são apresentados conforme aparecem nos artigos, por isso estão em Inglês.

Sistema de Classificação: Significados de “informação genética”
a) informação organizacional-molecular: “the constraints are the information , are partially causal in the diversity of what occurs in cells”; “we emphasize this, because we wish to place a discussion of information , and its relation to work, constraint, and propagating organization in a wider context that the contemporary debate among philosophers of biology and biologists about the information status of the DNA → RNA → protein chain.”; “semiotic information becomes part of propagating organization”.
b) informação genética propriamente dita: “most biologists view DNA as containing encoded information ”; “as Crick put it in the 1970 paper, the Central Dogma “deals with the

detailed residue-by-residue transfer of sequential **information**” between individual polymer molecules”; “**information** is encoded in the DNA”.

c) informação ambiental: “as part of the propagating organization within living cells, the cell operates as an **information** processing unit, receiving information from its environment, propagating that information through complex molecular networks, and using the **information** stored in its DNA and cell-molecular systems to mount the appropriate response”; “we wish to say that the agent confronting yuck or yum receives information “about” yuck or yum”; “and their evolutionary “adaptations” can be seen as embodying **information** about the environment””.

d) informação científica: “the amount of **information** required for a specific phenotype can be measured quantitatively”; “**information** is a tool and as such it comes in different forms”; “this language is understandable; indeed, these correlations provide us with **information** about biological systems”.

Fonte: elaborado pelo autor.

Para cada unidade de registro identificada foi atribuído um dos códigos do Sistema de Classificação. Este procedimento de codificação resultou no Apêndice A, em que são apresentadas todas as unidades de registro identificadas, bem como os índices e códigos sob os quais foram incluídas. A seguir, descreve-se a elaboração do quadro final da análise de conteúdo.

3.5 AGRUPAMENTO

A etapa final da análise de conteúdo consistiu na organização dos índices de cada unidade de registro em um quadro com as categorias. Dessa forma, todos os índices que foram classificados sob um mesmo código foram incluídos dentro de um mesmo espaço do quadro, conforme será apresentado na seção seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de codificação resultou na identificação de 396 unidades de registro, apresentadas no Apêndice A. O processo de análise de conteúdo dessas unidades de registro resultou em um sistema de classificação que permitiu a confecção de um quadro com quatro categorias de “informação genética” (Quadro 4).

Quadro 4. Apresentação do resultado da análise de conteúdo. Neste quadro, as unidades de registro aparecem apenas na forma dos índices que foram atribuídos a cada uma delas. Para acessar os índices, consultar o Apêndice A. As unidades de registro foram classificadas de acordo com os significados de “informação genética” que encontramos ao nível dos fenômenos moleculares (informação organizacional-molecular, $n=31$; informação genética, $n=278$; informação ambiental, $n=35$; e informação científica, $n=52$).

Unidades de registro por significados de informação Genética ($n=396$)	
Informação organizacional-molecular ($n=31$)	BP05U04; BP07U04; BP07U05; BP07U06; BP07U07; BP07U08; BP07U09; BP07U10; BP07U11; BP07U12; BP07U13; BP07U14; BP07U15; BP07U16; BP07U17; BP07U21; BP07U22; BP07U23; BP07U34; BP07U35; BP07U36; BP07U37; BP17U01; BP17U02; BP17U03; BP17U13; BP19U01; BP19U04; BP19U05; BP19U07; BP21U44
Informação genética propriamente dita ($n=278$)	BP01U01; BP01U02; BP01U03; BP01U05; BP01U06; BP01U07; BP01U08; BP01U09; BP01U10; BP01U11; BP02U01; BP02U02; BP02U03; BP02U04; BP02U06; BP02U07; BP02U08; BP02U09; BP02U10; BP03U01; BP03U03; BP03U04; BP03U05; BP03U07; BP03U08; BP03U09; BP03U10; BP03U11; BP04U01; BP04U02; BP04U03; BP04U05; BP04U06; BP04U07; BP04U08; BP04U09; BP04U10; BP04U11; BP04U12; BP04U13; BP04U15; BP04U16; BP04U17; BP04U18; BP04U19; BP04U20; BP04U21; BP04U22; BP04U23; BP04U24; BP04U25; BP04U26; BP04U28; BP05U02; BP05U03; BP05U05; BP05U06; BP05U07; BP05U08; BP05U11; BP05U13; BP06U01; BP06U02; BP06U03; BP06U04; BP06U05; BP06U06; BP06U07; BP06U11; BP06U12; BP06U13; BP06U14; BP06U15; BP06U16; BP06U21; BP06U24; BP06U25; BP06U27; BP06U28; BP06U29; BP06U30; BP06U31; BP06U33; BP06U34; BP07U02; BP07U03; BP07U24; BP08U01; BP08U02; BP08U04; BP08U05; BP08U07; BP08U08; BP08U09; BP08U10; BP08U11; BP08U12; BP08U13; BP08U14; BP08U15; BP08U16; BP08U18; BP09U02; BP09U03; BP09U04; BP10U01; BP10U36; BP10U41; BP10U51; BP10U53; BP10U54; BP10U55; BP11U01; BP11U09; BP12U01; BP12U02; BP12U17; BP12U18; BP12U19; BP12U20; BP13U02; BP13U05; BP13U06; BP14U12; BP14U14; BP14U15; BP14U18; BP14U19; BP15U01; BP15U02; BP15U03; BP16U01; BP16U02; BP16U03; BP16U04; BP16U05; BP16U06; BP16U07; BP16U08; BP16U09; BP16U10; BP16U11; BP16U12; BP16U13; BP16U14; BP16U15; BP16U17; BP16U19; BP17U08; BP17U09; BP17U10; BP17U12; BP17U14; BP17U16; BP17U17; BP17U18; BP17U19; BP17U20; BP17U21; BP17U22; BP17U23; BP17U24; BP17U25; BP17U26; BP18U02; BP18U03; BP18U04; BP18U05; BP18U06; BP18U07; BP18U08; BP18U09; BP18U13; BP18U15; BP18U17; BP18U18; BP18U19; BP20U03; BP21U11; BP21U15; BP21U21; BP21U22; BP21U23; BP21U25; BP21U26; BP21U27; BP21U28; BP21U29; BP21U30; BP21U33; BP21U34; BP21U35; BP21U36; BP21U37; BP21U38; BP21U41; BP21U42; BP21U43; BP22U02; BP22U03; BP22U04; BP22U05; BP22U06; BP22U07; BP22U08; BP22U09; BP22U10; BP22U11; BP22U12; BP22U13; BP22U15; BP22U16; BP22U17; BP22U18; BP22U19; BP22U20; BP22U21; BP22U22; BP23U23; BP23U26; BP23U27; BP23U28; BP24U02; BP24U03; BP24U04; BP24U05; BP24U06; BP24U07;

	BP24U08; BP24U10; BP24U11; BP24U12; BP24U14; BP24U15; BP24U16; BP24U18; BP24U20; BP24U22; BP24U23; BP24U25; BP24U27; BP24U43; BP24U44; BP25U01; BP25U02; BP25U06; BP25U07; BP25U08; BP26U01; BP26U05; BP26U06; BP26U07; BP26U08; BP26U10; BP26U11; BP27U04; BP27U05; BP27U08; BP28U01; BP28U02; BP28U05; BP28U06; BP28U07; BP28U09; BP28U10; BP28U11; BP28U12; BP28U13; BP28U14; BP28U15; BP28U16; BP28U17; BP28U18; BP28U20; BP28U21; BP28U22; BP28U23; BP28U25
Informação ambiental (n=35)	BP07U01; BP07U27; BP07U28; BP07U32; BP09U06; BP09U07; BP09U08; BP09U09; BP18U16; BP23U18; BP23U19; BP23U20; BP23U24; BP23U33; BP24U09; BP24U28; BP24U29; BP24U32; BP24U33; BP24U34; BP24U35; BP24U36; BP24U37; BP24U39; BP24U40; BP24U41; BP24U42; BP24U45; BP27U01; BP27U02; BP27U06; BP27U07; BP27U09; BP27U10; BP27U11
Informação científica (n=52)	BP04U27; BP05U09; BP05U10; BP06U09; BP06U18; BP06U20; BP06U23; BP06U32; BP07U20; BP08U17; BP10U17; BP10U24; BP10U40; BP10U42; BP10U43; BP10U44; BP10U45; BP10U46; BP10U47; BP10U48; BP10U49; BP10U50; BP11U08; BP11U11; BP12U14; BP12U15; BP13U13; BP15U04; BP16U16; BP17U06; BP17U15; BP17U30; BP19U03; BP20U07; BP21U10; BP21U14; BP21U17; BP23U07; BP23U09; BP23U10; BP23U29; BP23U35; BP23U37; BP23U39; BP26U02; BP26U04; BP26U12; BP26U15; BP26U16; BP26U17; BP26U19; BP26U20

Fonte: elaborado pelo autor.

Este trabalho seguiu o percurso metodológico de uma análise indutiva seguida de uma síntese criativa. No item 4.1 serão apresentados os resultados e discussão da análise indutiva e no item 4.2 serão apresentados os resultados e discussão da síntese criativa.

4.1 ANÁLISE: CATEGORIAS DE INFORMAÇÃO

O exercício de agrupamento sobre as unidades de registro permitiu que identificássemos afastamentos e aproximações entre as propostas de definição que os autores dos artigos lidos fizeram para o termo genérico “informação genética”. Foi identificada uma pluralidade de nomenclaturas alternativas para o termo, algumas das quais serão apresentadas. Após analisar cada categoria, optamos por escolher um nome para a categoria que melhor a representasse. A seguir são apresentadas as descrições de cada uma, indicando como foram construídas a partir dos conceitos que surgiram nas unidades de registro.

4.1.1 Informação organizacional-molecular

O primeiro significado de “informação genética” identificada nos artigos do periódico *Biology and Philosophy* entre 2000 e 2020 constitui uma categoria que incluiu 31 unidades de

registro. Nesta categoria, informação é um termo que descreve a forma como as moléculas estão organizadas no espaço e no tempo; como essa organização é propagada; como ela interage em um contexto biológico, possibilitando que a célula realize trabalho; e como esses processos explicam a evolução na biosfera, como indicado no índice [BP07U12] (KAUFFMAN et al., 2008).

Pelo fato de descrever a organização das moléculas, intitulamos esta categoria de *informação organizacional-molecular*, e utilizaremos esta denominação em substituição a “informação genética” sempre que identificarmos que a intenção dos autores foi a de conferir este significado para o termo, a fim de assegurar maior precisão ao discurso.

Acredita-se que o debate acerca de “informação genética” não se limite às interações estabelecidas entre DNA, RNA e proteínas. Há um posicionamento que defende que a abrangência do termo é maior que o contexto dos ácidos nucleicos, sendo definido pela forma como os organismos vivos propagam organização por meio das moléculas, como essas moléculas são distintas de outras e como elas estão interconectadas em uma rede de reações, conforme esteve presente em [BP07U05], [BP17U02] e [BP17U03] (KAUFFMAN et al., 2008; WILKINS; STANYON; MUSGRAVE, 2012). Assim como indicado pelas unidades de registro [BP19U01] e [BP19U04], a informação organizacional-molecular é um dado físico acerca da posição que uma molécula ocupa no tempo e no espaço e, por isso, pode receber a denominação “informação física” (ROHWER; BARROT, 2013).

Quanto à origem dessa informação, a unidade [BP17U01] indica que ela se dá a partir das complexas propriedades de auto-organização do organismo (WILKINS; STANYON; MUSGRAVE, 2012). A unidade de registro [BP17U13] permite conceber informação como sinônimo de ordem, apontando para o paradoxo da forma como a estrutura molecular torna-se complexa e organizada a partir de processos darwinianos (ibid.). Portanto, por tratar-se de uma medida de organização ou de ordem, a informação pode ser mensurada a partir da entropia das moléculas, conforme presente nas unidades de registro [BP19U05], [BP19U07] e [BP21U44] (HAIG, 2014; ROHWER; BARROT, 2013).

Um exemplo de informação organizacional-molecular, é o arranjo molecular unidimensional da sequência de bases nitrogenadas. A partir desta sequência é possível prever alguns aspectos tridimensionais do fenótipo proteico que esse fragmento de DNA poderá dar origem, conforme sugerido em [BP05U04], ou seja, conhecendo os aminoácidos presentes na proteína que será originada, é possível fazer previsões acerca das estruturas terciárias e quaternárias dessa molécula (KNIGHT, 2007).

Também nesta categoria de informação, alguns autores fazem emprego do conceito de restrição. As possibilidades de reações químicas a ocorrerem em uma célula podem conduzir o organismo a diversos caminhos diferentes. Entretanto, depois que uma reação ocorre, essas possibilidades se reduzem devido à ocorrência de um único evento dentre os possíveis. A ocorrência desse evento é uma restrição e determinou a conformação estrutural e fisiológica da célula. Dessa forma, essa restrição é uma informação, ou seja, uma condição limitante imposta para liberação de energia em uma quantidade específica que determina que os processos celulares aconteçam dentro daquele espectro de possibilidades (KAUFFMAN et al., 2008). A diversidade surge a partir do conjunto de diversas células com restrições distintas. Tais considerações estão presentes nas unidades [BP07U04] e [BP07U07].

Em [BP07U14], as restrições químicas são associadas com a existência de um microcódigo que poderia dar origem a uma grande quantidade de informações (KAUFFMAN et al., 2008, p. 10). Para efetuar tal associação, a ideia de cristal aperiódico de Schrödinger é resgatada. Em seu livro *O que é Vida?* de 1992, o autor propõe o exercício reflexivo de pensar em como a organização molecular de um cristal pode armazenar informação. Se a organização dos cristais fosse sempre regular e idêntica, não haveria diferença ou restrições e, portanto, a informação seria irrelevante, pois seria sempre a mesma.

Se pensarmos em cristais aperiódicos, ou seja, com organizações moleculares diferentes, impostas por restrições em diferentes níveis, surge a possibilidade de um microcódigo a partir do qual é possível surgir informação, conforme apontado em [BP07U15]. Os autores consideram que Schrödinger estava correto e previu o sistema de código dos ácidos nucleicos (ibid.). Dado o arranjo molecular do DNA, esse sistema baseado em código permite que a informação seja propagada por meio das enzimas de RNA polimerase, conforme proposto em [BP07U17].

Embora a organização molecular permita a existência de um código, em [BP07U35] afirma-se que a informação é mais ampla que esse código, visto que ela, por si só, é suficiente para permitir a ocorrência de eventos. Um exemplo de evento seria a resposta de uma célula para uma molécula. A presença dessa uma molécula de alimento no ambiente é para a célula uma informação, ao permitir que a célula elabore uma resposta metabólica para sua presença naquele ambiente (KAUFFMAN et al., 2008, p. 13-14).

A partir das definições dadas para informação organizacional-molecular a partir do arranjo das moléculas e das propriedades restritivas, pode-se concluir que a informação está intimamente associada à matéria e só pode ser identificada a partir dela. Entretanto, a informação não é material, conforme sugerido por [BP07U21]. Diante desta definição,

Kauffman e cols. (2008) concluem que o termo “informação” não representa um objeto concreto e possa ser até mesmo uma metáfora para descrever padrões de objetos materiais, como aparece em [BP07U22].

Uma vez dada a definição de informação organizacional-molecular, é preciso refletir acerca da possibilidade de esse termo ser ou não metafórico. Se levarmos em consideração a definição dada por Kauffman e cols. (2008, p. 10) de que informação são restrições ou condições limitantes, é possível aceitar esse termo como um uso denotativo da linguagem, uma vez que apresenta uma definição científica precisa e representa diretamente um fenômeno (restrições energéticas presentes nas moléculas), isto é, não ancora seu significado em aspectos semelhantes de um outro conceito que representa outro fenômeno.

Ao utilizar a palavra “informação” para representar o fenômeno das restrições energéticas nas moléculas de ácidos nucleicos, atribui-se a uma palavra já existente um novo significado, aumentando a complexidade da polissemia. Utilizando essa definição de informação organizacional-molecular, é aceitável dizer que acontece transmissão de informação, tendo em vista que as restrições energéticas são preservadas quimicamente por meio das reações nas novas moléculas produzidas.

Além de associar informação com restrição, Kauffman e cols. (2008) também equivalem o termo com instrução, sugerindo que a informação organizacional-molecular executa uma função imperativa, conforme identificado em [BP07U16]. Apesar de os autores serem vagos em relação ao significado exato dessas instruções, entendemos que ela seja a especificação de proteínas que resulta na produção do organismo adulto.

É preciso questionar a denominação de “informação instrucional” por conta da “*função instrucional que a informação executa*” (KAUFFMAN et al., 2008, p. 10, tradução nossa) como sinônimo de informação organizacional-molecular no sentido proposto nesta categoria. O adjetivo “instrucional” não pode ser aceito como denotativo, uma vez que a função da informação, ou seja, as restrições energéticas presentes nas moléculas, não é a de instruir. “Instruir” é um verbo transitivo direto indireto (MICHAELIS, 2021) e, portanto, é incompatível para ser aplicado ao contexto molecular da célula, tendo em vista que não há um conteúdo sendo transmitido (que ocuparia a posição de objeto direto), tampouco com a finalidade de ser transmitido a “alguém” ou “algo” (que ocuparia a posição de objeto indireto). Instruir é uma ação com finalidade, executada por agentes conscientes. Por mais que seja aceitável a definição de informação como restrições energéticas, os ácidos nucleicos participam apenas de reações químicas e não de transmissão de instruções.

Enfim, poderíamos dizer que a estrutura dos ácidos nucleicos tem a função³ de transmitir informação? Depende. Se o significado da palavra informação nessa frase for restrições energéticas, podemos dizer que em um contexto evolutivo a função dos ácidos nucleicos seja, sim, de transmissão de informação. Essa afirmação torna-se plausível pelo fato de a conformação estrutural do DNA ter sido selecionada dentre outras moléculas possíveis, por conta da eficiência em preservar as propriedades sequenciais e pela eficiência em reagir e produzir outras moléculas que também mantêm tais sequências (BERGSTROM; ROSVAL, 2011A, p. 173-174; FOX, 1987).

Essa estabilidade na transmissão molecular de padrões de ligações químicas e propriedades sequenciais, permite a associação de um produto fenotípico proteico com uma sequência de bases nitrogenadas. Se houver variabilidade de sequências em uma população, sendo que algumas delas resultam em produtos proteicos distintos, esses produtos proteicos podem impactar de forma diferencial a sobrevivência e reprodução dos organismos que apresentam a sequência de bases nitrogenadas que deu origem a essa proteína, ou seja, pode aumentar ou diminuir seus *fitnesses*. Se essa proteína permitiu o aumento do *fitness* dos organismos e produziu um aumento de frequência de determinada sequência de bases nitrogenadas na população, então se poderia dizer que a função dessa sequência de bases é dar origem a esse fenótipo por meio de reações químicas.

É este processo de aquisição de função de uma sequência de DNA por meio da produção de proteínas que desempenham tarefas distintas que pode ser compreendido como uma função instrucional. Nesta compreensão, o fragmento de DNA “dá uma instrução” para a maquinaria enzimática da célula acerca de “qual proteína deve ser produzida”. Entretanto, essa compreensão é genecentrista e teleológica, pois centraliza o fenômeno da produção de proteínas ao atribuir ao DNA a causa única dessa reação, além de conceber finalidade ao processo. Portanto, o termo “instrucional” é metafórico e deve ser evitado em contextos científicos e didáticos, ou utilizado com ressalvas.

Além da possibilidade de ser instrucional, a informação organizacional-molecular, enquanto restrição, surgiu nas unidades de registro a possibilidade de apresentar conteúdo semiótico, conforme aparece em [BP07U34]. As condições para se considerar que um significado exista são as seguintes: a) existir um sujeito para o qual a informação se apresenta; b) existir um objeto, acerca do qual a informação se trata; e c) existir um sinal que representa o objeto, conforme apresentado por Kauffman e cols. (2008, p. 14).

³ Estamos utilizando a palavra “função” em concepção etiológica, conforme discutido em Chediak (2011, p. 87-89), sendo aquela que concebe um traço funcional como um resultado de seleção natural.

Para exemplificar a possibilidade de uma informação organizacional-molecular adquirir significado em um contexto biológico, apresenta-se o caso de uma célula (o sujeito) que reconhece uma molécula de alimento (objeto) que se liga a um receptor de membrana. Essa informação (alimento) restringe as possibilidades de ligação para o receptor de membrana, e tal ocorrência é propagada na organização da célula por meio da transdução de sinais em cascata. Estes sinais transduzidos adquirem, por meio da seleção natural, o caráter de significado para o organismo acerca da presença de alimento no ambiente (KAUFFMAN et al., 2008, p.13). A noção de conteúdo semiótico e semântico aparece em outras unidades de registro em outras categorias de informação e serão discutidas em sua totalidade no item 4.1.2

Tendo em vista a concepção de que informação são as restrições de liberação de energia, afirma-se que a teoria de Shannon da informação (SHANNON, 1948) é insuficiente para explicar o conteúdo informativo da evolução na biosfera, conforme apontado pelos índices [BP07U08] e [BP07U11]. Kauffman e cols. (2008) sustentam essa incompatibilidade por afirmarem não ser possível calcular a entropia das preadaptações e por não ser possível identificar uma fonte da mensagem e um canal de transmissão, requisitos para aplicação da teoria de Shannon. Existem, ainda, argumentos de que o próprio organismo poderia ser o canal de transmissão. Levando em consideração todo seu desenvolvimento e ciclo de vida, entretanto, os autores concordam com Apter e Wolpert (1965 apud. KAUFFMAN et al., 2008), que consideram que o desenvolvimento tem mais características de um algoritmo ao invés de um canal de transmissão, conforme índice [BP07U10].

A teoria de Shannon ainda tem seu potencial rejeitado por Kauffman e cols. (2008) uma vez que seria impossível medir a quantidade de informação presente na diversidade da biosfera atual, pois seria preciso acessar as fontes das quais as sequências de DNA atuais derivaram, conforme presente na unidade [BP07U13].

Entretanto, em um dos argumentos utilizados para rejeitar a teoria de Shannon na Biologia, Kauffman e cols. (2008) rebatem o fato de que essa teoria não considera que o conteúdo da mensagem seja importante, afirmando que os seres vivos manifestam significado porque possuem propósito, conforme presente em [BP07U23]. Em relação a existência de propósito, rejeitamos o posicionamento desses autores. Uma vez que a manifestação de propósito é uma emergência da consciência humana (ABRANTES; ALMEIDA, 2011), ela não está presente em outras espécies, nem em outros níveis de organização biológica. Assim, qualquer possível “conteúdo” ou “significado” que a informação possa vir a manifestar, não será um produto de propósito de algum agente biótico.

Em contraponto com algumas interpretações da aplicação da teoria de Shannon na Biologia que afirmam que a “mensagem” do DNA é sobre as informações necessárias para dar origem a um indivíduo (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; GODFREY-SMITH, 2011), Kauffman e cols. (2008) rejeitam o genocentrismo ao afirmarem que a informação contida no DNA é insuficiente para dar origem a um adulto, conforme apontado pelo índice [BP07U09]. Tais considerações apontam para a necessidade de explicações para a construção de organismos por meio de causação múltipla, e não apenas como um produto do DNA.

A unidade [BP07U36] indica que uma variação herdável em um organismo pode dar origem a novas restrições no organismo que impactará seu *fitness* de forma benéfica ou prejudicial. Os padrões de propagação de informação organizacional são mantidos nas populações ao longo do tempo de acordo com seu impacto no *fitness* dos organismos cujas células exibem tais padrões, conforme indica [BP07U06] (KAUFFMAN et al., 2008). Desta forma, as variações herdáveis e a seleção natural são os processos que permitem a propagação de informação na biosfera, conforme apontado em [BP07U37].

No item 4.2 explicaremos como as quatro categorias de “informação genética” formam um todo coerente do conceito de “informação” aplicado aos fenômenos de nível molecular na Biologia. Entretanto, a tessitura de alguns adiantamentos se faz necessária, conforme será introduzido no item a seguir.

4.1.2 Informação genética propriamente dita

Das 396 unidades de registro codificadas, 278 foram agrupadas nesta categoria. Em nossa amostra, esta foi a categoria que apresentou o maior número de índices codificados, o que sugere que na maior parte das vezes em que os autores estavam referindo-se à “informação genética”, estavam empregando o significado que identificamos nesta seção.

O uso dos conceitos informacionais para descrever a estrutura e função dos ácidos nucleicos apresenta-se como um dos empregos mais imediatos desses conceitos em materiais didáticos de Genética e Biologia Molecular, como aqueles citados no referencial teórico (ALBERTS et al., 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2015). Apesar das definições dessas moléculas serem aceitas sem questionamentos em termos informacionais, elas são superficiais e vazias de significado na maior parte das vezes. A codificação das unidades de registro permitiu identificar o significado informacional neste contexto ao descrever a estrutura com que esses termos são empregados.

Na seção anterior, descrevemos a categoria que denominamos informação organizacional-molecular, que descreve as especificidades do arranjo das moléculas no tempo

e no espaço. Estas moléculas adquirem a propriedade de ser informação em contextos biológicos. Elas podem ser tanto as moléculas de ácidos nucleicos, como presente em [BP07U02], quanto qualquer outra molécula do ambiente interno ou externo em qualquer nível de organização biológica, como também podem compor a estrutura das entidades biológicas (como um lipídio de membrana, por exemplo).

Definimos o meio externo e interno utilizando como referência o organismo (MEGLHIORATTI, 2009). Entretanto, em alguns momentos, o meio interno e externo pode ser definido em relação à outra entidade biológica em outro nível de organização. Um exemplo acontece ao nível celular, em que a membrana plasmática define o meio interno e externo à célula.

Quando as moléculas em questão são os ácidos nucleicos, emergem algumas especificidades nas reações em que elas se envolvem, nos efeitos metabólicos, no desenvolvimento do organismo, na reprodução, na frequência de fenótipos e genótipos em uma população, entre outros processos fisiológicos. Dada a complexidade presente nas reações destas moléculas específicas e dada a frequência com que este significado de informação aparece nos discursos da área da Biologia Molecular e Genética, denominados esta categoria *informação genética propriamente dita* e utilizaremos esta denominação para nos referirmos à “informação genética” quando os autores fazem referência direta às moléculas de ácidos nucleicos e suas propriedades estruturais e fisiológicas. Em nosso sistema de classificação, a informação genética propriamente dita é um tipo de informação organizacional-molecular quando a molécula em questão, cuja organização se discute, são os ácidos nucleicos (Figura 2).

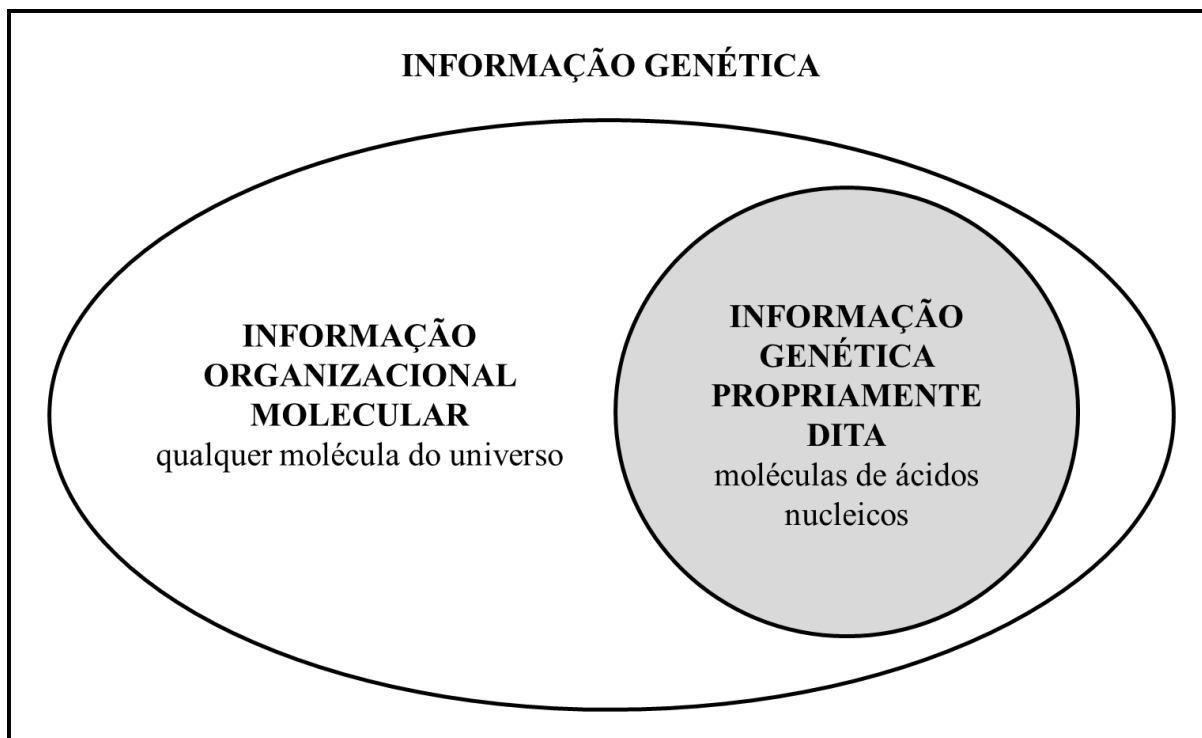


Figura 2. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo, e a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos. “Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular”. Fonte: elaborado pelo autor.

Ao utilizarmos a palavra “informação” para nos referirmos aos ácidos nucleicos, um conjunto de ações torna-se possível para essa molécula. Ela pode ser lida, transcrita, traduzida, copiada e interpretada, como aparece, por exemplo, em [BP0506]. As diversas concepções de informação genética apresentadas no referencial teórico deste trabalho foram propostas para elucidar o significado de informação desta categoria, como a informação causal de Shannon, a informação reificada, a informação semântica, a informação transmissiva e a informação fictícia.

Alguns autores utilizaram as definições de Shannon da informação genética, inferindo que o conteúdo dos nucleotídeos possa ser medido em *bits*, comparando os ácidos nucleicos com os computadores e outras mídias digitais, como aparece em [BP05U07]. Nesta comparação, Knight (2007) propõe que a possibilidade de prever a função de uma sequência de bases depende das suas restrições, no mesmo sentido proposto para as restrições da informação organizacional-molecular. Estas restrições é que constituem a informação da molécula de DNA, conforme sugerido em [BP05U08].

A analogia com computadores estende-se ao ponto de Knight (2007, p. 297) afirmar que ou aceitamos que o DNA contém informação sobre o fenótipo, ou rejeitamos que programas de computadores sejam feitos de informação, como registrado em [BP05U13]. Em

[BP24U07], Planer (2014, p.34) apresenta a analogia de que cada gene poderia ser considerado uma linha de um programa de computador, com instruções IF-THEN, conforme apresentado no referencial teórico (cf. seção 2.4.7).

A teoria de Shannon da informação causal é simétrica e vai ao encontro da tese da paridade (STEGMANN, 2012). A tese da paridade, defendida com mais ênfase por biólogos que estudam o desenvolvimento, é antagônica ao genocentrismo. Esta teoria propõe que a construção do fenótipo não é determinada geneticamente, mas que apresenta diversas causas, como o ambiente, o desenvolvimento, o comportamento, a cultura, entre outros fatores (cf. CESCHIM; GANIKO-DUTRA, 2020). Pode-se dizer que a teoria de Shannon é compatível com a tese da paridade porque, nesta interpretação, tanto o genótipo quanto o ambiente possuem informações acerca do fenótipo, como indicado em [BP22U08].

Apesar da possibilidade de ser descrita como uma informação característica da teoria de Shannon, focada em como a informação é transmitida, Shea (2007) e Robinson e Southgate (2010) rejeitam esta teoria por afirmar que o foco da discussão está no conteúdo da mensagem, que não é contemplado na teoria de Shannon, conforme indicado em [BP06U21] e [BP09U03]. Como presente em [BP15U01], o conteúdo da informação refere-se às características que funcionam em um determinado ambiente, ou seja, permitem a sobrevivência e reprodução dos organismos naquelas dadas condições (HAIG, 2012).

Entretanto, a associação do genoma com um programa genético é persistente, como volta a aparecer em [BP08U01] e [BP22U04]. Esta associação considera que toda informação necessária para dar origem a um indivíduo está presente no genoma, como indicado em [BP08U02] (PRIDMORE, 2008, p. 580). Em [BP24U05], Planer (2014) indica que normalmente aponta-se que o programa que está no DNA é lido pela célula. A abordagem do programa genético também foi um argumento para justificar o genocentrismo, como presente em [BP24U06]. Entretanto, o autor também critica que conceber o DNA em termos booleanos é uma simplificação das reações caóticas que acontecem no ambiente celular (PLANER, 2014, p. 34), como presente em [BP24U14], e acrescenta, em [BP24U16], que essa analogia com programas de computadores deveria ser abandonada. Ao invés disso, a compreensão deveria ser de que a célula executa toda essa informação simultaneamente e não ordenadamente linha por linha, como em um programa de computador, conforme unidade [BP24U18] e [BP24U20].

Em [BP07U03], Kaufmann e cols. (2008, p. 29) apontam para uma possibilidade de reificação da informação ao propor que a informação contida nos organismos seja uma parte constituinte do mundo físico, juntamente com a matéria e energia. Assim como na categoria

anterior, nesta seção da informação genética propriamente dita, aparece a separação entre informação e matéria, e a suposição de que a informação poderia controlar as estruturas físicas de formas não definidas, como aparece em [BP17U23]. A proposta de abordagem da relação matéria-informação por meio da termodinâmica permite manipular esta informação de forma empírica, conforme sugerido em [BP17U24] e [BP18U06].

Entretanto, rejeitamos a existência da informação como um domínio separado e páreo à energia e à matéria, pois ela não pode ser detectada. Quando manipulamos determinados fenômenos e produzimos dados quantitativos para descrever as reações químicas, aquilo que se produz são descrições da forma como a matéria e energia interagem, sem a interferência de um outro domínio que as controla de forma metafísica.

Em relação ao fluxo da informação genética nos sistemas vivos, as unidades de registro indicam que há possibilidade da transmissão em um eixo ortogonal: vertical/evolutivo e/ou horizontal/fisiológico, conforme indicado em [BP18U02] e disposto na Figura 3. A transmissão de informação é descrita pelo Dogma Central da Biologia Molecular.

A transmissão horizontal trata-se dos processos fisiológicos nos quais a informação está envolvida e que não ultrapassam os limites espaciais e temporais da vida de um organismo. Por meio da transcrição e tradução, a informação contida no DNA converte-se em proteínas. O fluxo horizontal da informação esteve presente nas unidades de registro [BP01U09], [BP17U09], [BP22U15] e [BP26U07].

A transmissão vertical trata-se da informação que é enviada de uma geração para outra por meio da replicação do DNA e processos reprodutivos. O fluxo vertical da informação esteve presente nas unidades de registro [BP01U8], [BP11U09], [BP15U02], [BP20U03] e [BP21U23].

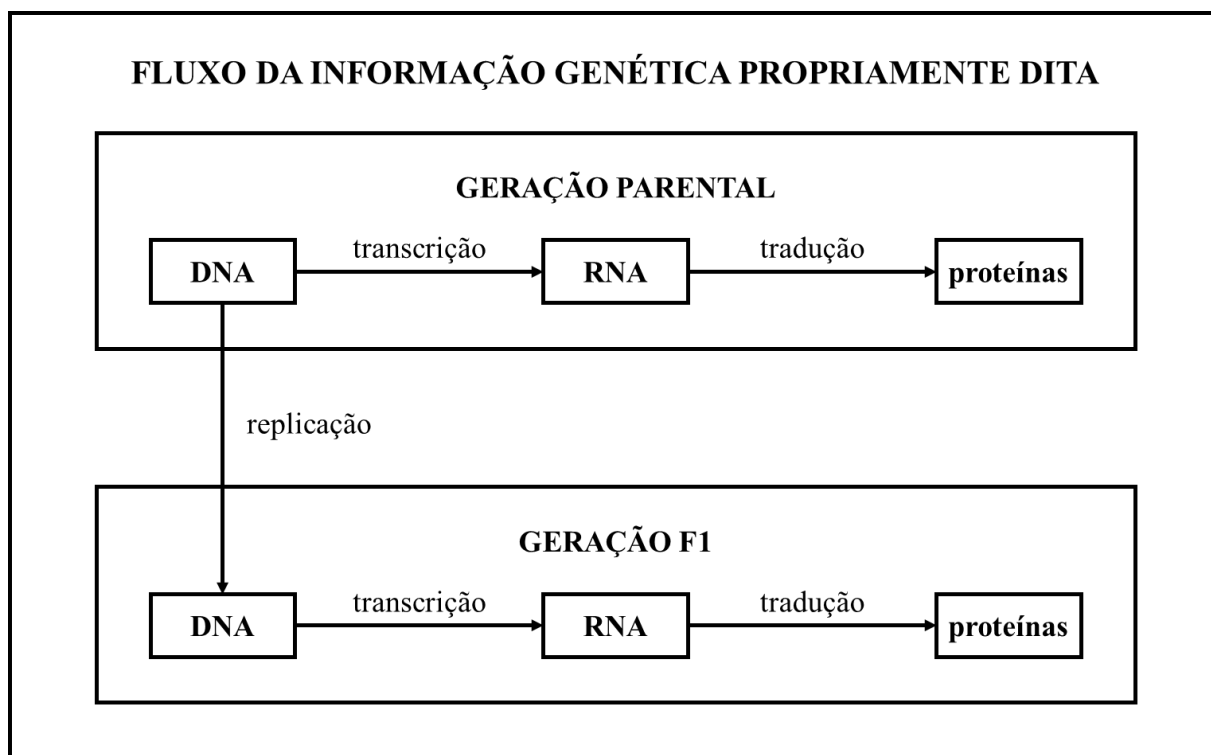


Figura 3. Representação eixo ortogonal do fluxo de informação nos organismos. A informação flui de forma horizontal por meio da fisiologia, mediada pelos processos de transcrição e tradução. O fluxo horizontal/fisiológico não ultrapassa os limites espaciais e temporais da vida de um organismo. A informação flui de forma vertical por meio da reprodução, mediada pelos processos de replicação, mitose e meiose. O fluxo vertical/evolutivo é transgeracional. Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da direção vertical ou horizontal, o fluxo da informação tem apenas um sentido: do DNA para as proteínas quando a direção é horizontal, como aparece em [BP03U03] e [BP18U15]; ou da geração parental para a geração F1 quando a direção é vertical, como aparece em [BP17U17].

Descrever a forma como a informação é transmitida nesse fluxo depende da noção de código, que é parte estruturante do conceito de informação genética, conforme aparece em [BP02U01], [BP04U18], [BP06U04], [BP09U04], [BP10U01], [BP22U10] e [BP25U02]. O código genético faz referência à correspondência existente entre a sequência de bases nitrogenadas e aminoácidos, como descrito em [BP06U25], [BP08U07], [BP22U16], [BP22U22], [BP23U23] e [BP25U01]. O alcance do código genético no ambiente molecular é limitado até as proteínas e não para fenótipos inteiros (KJOSAVIK, 2007; 2014), conforme indicado em [BP04U05], [BP04U17], [BP06U06], [BP18U13], [BP22U06], [BP22U11] e [BP26U08], ao contrário do que é sugerido em [BP28U01]. Pode-se considerar também que, além de codificar as proteínas, o material genético controla o contexto em que elas são expressas, conforme unidade [BP24U08], [BP24U10] e [BP24U11].

Para alguns autores, a propriedade informacional dos ácidos nucleicos surge a partir das propriedades sequenciais do DNA, conforme apresentado em [BP03U01], [BP03U04] e [BP18U04]. A organização molecular em sequências de bases e a transferência de uma delas de cada vez para outra molécula é o que permite a transmissão de informação (GODFREY-SMITH, 2007, p. 432; KJOSAVIK, 2007, p. 345), como aparece em [BP04U19]. Mosini (2013, p. 57) considera que a sequência de bases nitrogenadas permite prever até mesmo a conformação terciária de proteínas, como registrado em [BP18U05], apesar de não permitir prever toda a conformação tridimensional dessas moléculas, como indicado em [BP18U07] e [BP18U19].

O genocentrismo é pervasivo na Biologia, como indica Maclaurin (2011, p. 191) em [BP13U05], e as propriedades sequenciais podem justificá-lo, como indicado em [BP08U04], [BP16U04], [BP16U05], [BP18U08] e [BP22U12]. Mesmo inseridos em uma rede de reações metabólicas, devido à característica sequencial do DNA, atribui-se a essa molécula o controle sobre as outras reações que acontecem no ambiente molecular (GODFREY-SMITH, 2007, p. 434), conforme aparece em [BP03U05], [BP22U09], [BP24U12] e [BP24U15]. Esse “controle” exercido pelo DNA sobre outras reações pode até ser configurado como um tipo de propriedade seletiva, como indicado em [BP06U27].

Mesmo que as propriedades sequenciais possam conferir estabilidade nas reações de replicação, transcrição e tradução, contribuindo assim para assegurar o DNA como um mecanismo eficiente de hereditariedade e um papel especial ao nível filogenético, como aparece em [BP03U08], [BP06U15], [BP10U36] e [BP26U01], elas não justificam a atribuição de papel central nas reações ontológicas, como indicado em [BP22U20]. A molécula de DNA é mais complexa que as outras envolvidas na replicação, como por exemplo a helicase, mas, ainda assim, trata-se apenas de uma dentre várias moléculas necessárias para que uma reação aconteça. A ausência tanto da molécula de DNA, como da molécula de helicase, impediria que a replicação acontecesse. Neste sentido, o sistema informacional do DNA depende da interação com outros componentes celulares, conforme indicado em [BP18U18] e [BP22U18].

Entretanto, é preciso reconhecer que organizar as explicações biológicas por meio do pensamento sequencial permitiu que a humanidade lidasse com a complexidade desses fenômenos em uma época em que existia pouco conhecimento a respeito, o que levou ao desenvolvimento da linguagem informacional na Biologia, que agora deve caminhar para outras explicações além da sequência (GODFREY-SMITH, 2007, p. 436), conforme indicado por [BP03U09].

Em oposição ao genocentrismo, existem concepções que aceitam uma causação múltipla para o fenótipo, como presente em [BP04U12], [BP06U13], [BP06U14], [BP08U18], [BP12U18] e [BP22U02] (GODFREY-SMITH, 2011, p. 180; KJOSAVIK, 2007; 2014). Em [BP17U21], apresenta-se a não necessária relação entre informação genética e fenótipo por Lewontin (WILKINS; STANYON; MUSGRAVE, 2012, p. 222) principalmente na tese da paridade como apresentado por Stegmann (2012) em [BP16U02]. Em [BP05U03], apontam-se outros fatores de herança além do DNA, como configuração da membrana e padrões epigenéticos.

Em [BP16U06] e [BP22U03], discute-se a tese da paridade não dicotômica. Stegmann (2012, p. 911) explica que a tese da paridade não dicotômica não utiliza fatores “metafísicos” para classificar o DNA como um carregador de informação em detrimento de outros fatores não genéticos. A concepção da informação correlacional ou de Shannon, bem como a semântica e transmissiva, são compatíveis com a tese da paridade, segundo as unidades [BP16U10], [BP16U11] e [BP16U12]. Entretanto, se a seleção natural é um critério para que algum elemento seja considerado um carregador de informação, conforme estabelecido por Shea (2011), então o ambiente, como um fator não-genético envolvido na causação fenotípica, não poderia ser considerado um carregador de informação acerca do fenótipo, uma vez que não é passível de ser selecionado, conforme registrado em [BP16U14] por Stegmann (2012).

Semelhantemente à discussão das propriedades sequenciais que podem fundamentar o genocentrismo, também se discute as propriedades combinatoriais do material genético, como em [BP03U07], [BP06U16] e [BP10U55]. Kjosavik (2007) justifica em [BP04U06] e [BP04U07] que o potencial combinatorial do código genético também permite privilegiar o DNA como um fator causal, uma vez que dá origem a uma dimensão simbólica nos fenômenos moleculares, conforme será discutido juntamente com informação semântica.

Além das propriedades sequencias e combinatoriais, o código permite que a informação seja armazenada, como sugerido em [BP27U04]. Em [BP02U07], a forma como a informação é armazenada no genoma é comparada com a forma como ela é armazenada nos neurônios (BLUTE, 2005), sendo a célula é a entidade que processa essa informação, como indicado em [BP07U02].

No dicionário Michaelis, o significado do verbo “armazenar” na informática aparece como “guardar (dados, informações) em qualquer dispositivo físico, tendo em vista sua posterior recuperação” (MICHAELIS, 2021). Dessa forma, concluímos que antevisão é uma essência da ação de armazenar. A posterior recuperação é o que justifica que alguém armazene algo. O armazenamento de informações nos ácidos nucleicos é apenas uma forma

abreviada de percebermos as manifestações dessas moléculas, mas há incompatibilidade entre a linguagem e o fenômeno que precisam ser explicitadas.

Na dimensão molecular não há antevisão. Portanto, atribuir para moléculas a ação humana de armazenar pode causar, em um contexto de ensino, a distorção conceitual por personificação no sentido definido por Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020), uma vez que contamina o conceito de informação genética com teleologia. Ao invés de uma “informação”, no sentido de mensagem ou conteúdo, ser armazenada no DNA, temos reações químicas complexas acontecendo, como indicado em [BP24U23]. Essas reações estão inseridas em uma rede de outras reações, como aparece em [BP02U08], [BP05U11], [BP12U17] e [BP16U08], que emergem em padrões em níveis celulares, tissulares, orgânicos e do organismo. Em [BP17U22], propõe-se até mesmo a explicação da seleção de grupos de interação sem mobilizar conceitos informacionais (WILKINS; STANYON; MUSGRAVE, 2012, p. 229). O emprego da concepção de armazenamento de informação no DNA é genecêntrico, pois centraliza nessas moléculas o fenômeno da hereditariedade e produção de fenótipos. Estes últimos, sim, são os padrões que emergem a partir de diversas reações descentralizadas em nível molecular.

Outro conceito que apareceu com frequência nas unidades de registro a partir das discussões sobre código, foi o de arbitrariedade, sugerindo que a discussão acerca desse tema seja relevante para a discussão de informação na Biologia, como em [BP01U01], [BP04U16], [BP08U12], [BP10U51] e [BP22U13].

O código genético foi comparado com códigos linguísticos em [BP08U09] e [BP16U15]. De acordo com [BP01U02], o que sustenta a importância da arbitrariedade química para a fundamentação da dimensão simbólica do código genético é a semelhança com a arbitrariedade linguística. Por exemplo, Stegmann (2004) diz que o fonema da palavra “cachorro” nada diz acerca do significado dessa palavra. Portanto, assim como o fonema de uma palavra não reflete a natureza daquilo que ela representa e permite a emergência de uma relação simbólica, os fenômenos genéticos também exibem arbitrariedade química entre códons e aminoácidos e manifestariam uma relação simbólica (STEGMANN, 2004), como sugere [BP01U03] e [BP01U05]. A semelhança entre código genético e código linguístico sendo ou não uma metáfora, permite uma representação inteligível do fenômeno da correspondência entre as bases nitrogenadas e aminoácidos, como indicado em [BP08U10].

Outra similaridade da transmissão de informação por meio da língua e por meio do código genético é a noção de convenção, conforme aparece em [BP01U06], [BP04U20] e [BP08U13]. Santaella (2007, p. 77) explica que “a língua é uma bateria combinatória,

estabelecida por convenção ou pacto coletivo, armazenada no cérebro dos indivíduos falantes de uma dada comunidade”. Semelhante à combinação dos fonemas para a formação de palavras, o código genético permite a combinação de bases nitrogenadas e aminoácidos para a formação de proteínas. Para a manifestação da relação simbólica presente na língua, é preciso obedecer a um conjunto convenções socialmente estabelecidas e convém destacar uma incompatibilidade nesta analogia entre a convenção que se dá na língua e aquela sugerida em [BP01U06] que se dá no código genético.

A aparente convenção estabelecida no código genético, é o resultado de acontecimentos históricos que resultaram em um produto da seleção natural (BERGSTROM; ROSVAL, 2011A, p. 173-174; FOX, 1987), um processo emergente que ocorre por meio de interações descentralizadas e não direcionadas em um nível de organização inferior, que, com o tempo, resulta na emergência de um padrão ao nível populacional (COOPER, 2016). Na dimensão molecular, a “convenção” acontece na ausência de um pacto coletivo entre indivíduos humanos: não é mediado por cognição e nem socialmente, resultando em um aspecto incompatível, que desmorona a sustentação da ocorrência de transmissão de informação ao nível molecular de forma semelhante ao que ocorre por meio da linguagem.

Apesar de apresentar valor didático por permitir que a compreensão dos fenômenos moleculares se torne inteligível, esta comparação mantém-se ao nível da metáfora e, se utilizada em sala de aula como um recurso didático, deve ter suas incompatibilidades explicitadas para evitar a promoção de distorções conceituais por metáfora no sentido proposto por Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020).

Em relação à necessidade de a arbitrariedade química do código genético ser um critério para a existência de informação semântica nos ácidos nucleicos, os autores se dividem. Shea (2007, p. 314) considera que até mesmo a existência de um código não seja suficiente para justificar a dimensão semântica da informação genética, como presente em [BP06U05], bem como a arbitrariedade não seja um critério, como indicado em [BP06U34]. O autor compatibiliza os conceitos de arbitrariedade e seleção natural ao evidenciar que houve o aumento de *fitness* a partir de variações surgidas de forma quimicamente arbitrária, conforme indicado em [BP14U14]. Kjosavik (2007) e Bergstrom e Rosvall (2011a) colocam a arbitrariedade como um critério para a existência de informação semântica, como aparece em [BP04U08] e [BP10U51], pois permite distinguir o DNA de outros fatores causais. Apesar de concordar com o critério da arbitrariedade, em [BP04U09], Kjosavik (2007) rejeita a atribuição de conteúdo semântico para genes uma vez que eles não atendem a um segundo critério, o de possuir um conteúdo simbólico ou “*aboutness*”.

Stegmann (2004) rejeita que a arbitrariedade química seja um critério, conforme aparece em [BP01U10] e [BP01U11]. O autor argumenta que em alguns processos nos quais se acredita que ocorra transmissão de informação não há arbitrariedade química. Ele recorre ao exemplo da transcrição: é necessária uma afinidade química (relações químicas não arbitrárias) para que os nucleotídeos do DNA sejam pareados com os nucleotídeos que darão origem aos ácidos ribonucleicos (STEGMANN, 2004, p. 218). Ao contrário, nem todo processo biológico em que há arbitrariedade química, haverá transmissão de informação. Neste caso, Stegmann (2004) apresenta o caso da ligação do oxigênio à hemoglobina, que ocorre de forma arbitrária uma vez que a hemoglobina é uma proteína alostérica. Esta ligação ocorre sem a mediação de uma relação simbólica e, por isso, o autor conclui que a existência de arbitrariedade química em fenômenos biológicos não seja suficiente para que exista informação semântica (STEGMANN, 2004, p. 219). Em [BP16U03], Stegmann (2012, p. 914) utiliza a arbitrariedade como um fator para excluir alguns candidatos a carregadores de informação não genéticos.

Além do código, outros autores estruturam as explicações informacionais ao nível molecular ao redor do conceito de canal ou veículo de transmissão, como em [BP24U43] e [BP28U16]. Nesta concepção, a molécula de DNA não é a mensagem, mas sim o canal pelo qual a mensagem é transmitida: o DNA apenas carrega a informação. As perguntas de investigação nesta abordagem são: como os genes carregam informação e que tipo de informação é essa, como indicado pelas unidades [BP04U01] e [BP04U26].

Além disso, a forma como o DNA carrega informação é um argumento empregado para distinguir os genes de outros fatores causais na causação fenotípica, como aparece em [BP04U11] e [BP16U19]. A abordagem dedicada a responder como o DNA é um meio eficaz de transmissão de informação é a concepção da informação transmissiva e aquela que se dedica a investigar o conteúdo dessa informação, é a concepção da informação semântica, como presente em [BP17I08] e [BP17U10], ambas apresentadas no referencial teórico e discutidas a seguir.

Bergstrom e Rosvall (2011b) defendem a função do DNA como um canal de transmissão de informação de forma denotativa, como registrado em [BP11U01]. Para a informação transmissiva, essa função da molécula não é mera arbitrariedade ou produto do acaso, mas foi estabelecida historicamente por meio da seleção natural (BERGSTROM; ROSVAL, 2011A, p. 173-174; FOX, 1987), como presente em [BP10U41], [BP10U53], [BP10U54] e [BP12U19], porque resolvia um problema de manter a estabilidade do código ao longo das gerações, como indicado em [BP14U15] por Shea (2011, p. 186).

Os autores apresentam como evidência da função transmissiva do DNA, por exemplo, o aumento de frequência de códons sinônimos que evitam o “congestionamento” no RNAm durante a transcrição, em relação àqueles sinônimos que causam o congestionamento (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a). Entretanto, as evidências apresentadas pelos autores, não validam que a função do DNA seja de “transmitir informação”, mas sim que a função do código genético selecionado é manter a eficiência metabólica dos processos de transcrição e tradução. Portanto, defendemos que a atribuição para o DNA da função de transmitir informação carece de fundamentação.

A propriedade combinatorial do código é o que permite diagnosticá-lo como um veículo que carrega informação (KJOSAVIK, 2007, p. 340), de forma distinta daqueles objetos da concepção da informação causal de Shannon, que carregam informação em uma relação de causa-efeito, como está apresentado em [BP04U15], [BP17U20], [BP17U26] e [BP21U28].

A respeito da informação semântica, algumas declarações afirmam que há informação contida no DNA de forma simbólica e representativa, como em [BP06U01], [BP09U02], [BP17U25], [BP18U03], [BP21U41], [BP25U06], [BP26U05], [BP27U05] e [BP28U10]. O código genético é o que permite que o DNA seja um canal para informação, dando origem a uma dimensão simbólica nas relações moleculares, como sugerido por [BP04U03].

Uma das críticas direcionadas à informação transmissiva é a ausência de ênfase no conteúdo da mensagem, que seria de grande importância de ser discutida para a Biologia. Shea (2011, p. 185) aponta que Bergstrom e Rosvall (2011a) possivelmente consideram que o conteúdo da informação do DNA seja acerca de como produzir um organismo vivo, como indica [BP14U12].

Assim como na categoria de informação organizacional-molecular, nesta categoria de informação genética propriamente dita, alguns autores acreditam que o conteúdo da mensagem que está nos genes seja instrucional, como apresentado, por exemplo, por Kjosavik (2007, p. 340) em [BP04U13] ao exemplificar o conteúdo de genes do desenvolvimento, por Shea (2007) em [BP06U29] e [BP06U33], por Pridmore (2008) em [BP08U15]; por Godfrey-Smith (2011) em [BP12U01], por Stegmann (2012) em [BP16U07], por Mosini (2013) em [BP18U09], por Haig (2014) em [BP21U33], por Kjosavik (2014) em [BP22U05], [BP22U17] e [BP22U19], por Planer (2014) em [BP24U04] para demonstrar como genes regulam o desenvolvimento, por Austin (2015) em [BP25U08], por Bromham (2016) em [BP26U11], por Cofnas (2017) em [BP27U08] e por Kõiv (2020) em [BP28U14]. Para acessar tal discussão, rever seção 5.1.1.

Kjosavik (2007) ao refletir acerca da representação ser um critério para a existência de informação semântica nos genes, invalida a existência de representação de conteúdo ao nível fisiológico em [BP04U10], [BP04U23] e [BP04U24] e [BP04U25], uma vez que a relação de representação só poderia estar presente ao nível populacional, visto que ela é dada por seleção natural, como indicado em [BP06U31]. Nesta perspectiva, Knight (2007, p. 395) considera que o conteúdo do DNA esteja relacionado ao *fitness*, como registrado em [BP05U05]. Já em [BP28U21], Kõiv (2020) explica que, apesar de o tempo evolutivo ser indispensável para a atribuição de conteúdo semântico para o DNA, essa dimensão simbólica é limitada para explicar os processos pelos quais se dá a hereditariedade.

Semelhante aos códigos linguísticos, o aspecto representativo da informação semântica pode estar correto ou ser mal interpretado, como aparece em [BP04U21], [BP06U07], [BP18U17], [BP21U37] e [BP28U05]. A partir da definição de teleofunção, que explica que uma função é a tarefa pela qual um fenótipo foi selecionado, Shea (2007, p. 315) coloca como critério para a existência de “representação” que a sequência esteja “correta”, ou seja, que atende às condições de sua função, como registrado em [BP06U11], [BP23U27], [BP24U44], [BP28U06] e [BP28U12].

Kjosavik (2007) explica que uma informação semântica do DNA ser mal interpretada é o equivalente a uma proteína não executar sua função, ou ser produzida uma proteína que não se comporta da forma como se esperaria tendo em vista seu histórico de seleção natural, como registrado nas unidades [BP04U22] e [BP25U07]. Se levamos em consideração o genoma inteiro, no caso de apenas um fenótipo não apresentar compatibilidade com o ambiente, já se afirma que todo o genoma está mal representado, como sugerido em [BP28U23] por Kõiv (2020).

Entretanto, apesar da dependência das condições ambientais para a determinação da informação estar correta ou mal interpretada, um gene codifica sempre a mesma informação, independentemente do contexto, isto é, se o organismo estivesse em um ambiente que não apresentasse compatibilidade para uma determinada função, a mesma função continuaria sendo produzida pelo gene, como declarado em [BP08U14] e [BP21U34] (HAIG, 2014, p. 683; PRIDMORE, 2008, p. 583).

Tendo em vista a condição adequada de uma informação ser um produto da seleção natural, como indicado em [BP15U03], [BP17U18], [BP21U38], [BP23U26], [BP28U20] e [BP28U22], Shea (2007) afirma que o conteúdo representado (*fitness*) depende sempre de um contexto no tempo e no espaço em que ocorreu o processo de seleção e no qual a função

apresenta compatibilidade com as condições ambientais em que o organismo está inserido, como indicado em [BP06U12], [BP06U30], [BP28U13] e [BP08U16].

Como consequência, o conteúdo da informação que está no DNA é a respeito das pressões colocadas pelo ambiente em que o organismo está inserido, conforme aparece em [BP21U22], [BP21U26], [BP21U42], [BP21U43] e [BP28U09] (HAIG, 2014; KÕIV, 2020). Assim, a informação semântica requer a localização dos fenômenos no tempo evolutivo, como indicado em [BP06U24]. Shea (2007, p. 324) conclui que as representações são as etapas intermediárias de correspondência entre uma condição do ambiente e a resposta compatível de um organismo que permite sua sobrevivência e reprodução, dando origem ao conteúdo representacional, como aparece em [BP06U28] e [BP28U15].

A dimensão simbólica do código genético foi utilizada em [BP08U05], [BP08U08], [BP16U03] e [BP22U07] para justificar o genocentrismo sobre outras causas do desenvolvimento que não manifestam tal dimensão. Em oposição à atribuição de um posicionamento privilegiado para o DNA no desenvolvimento por carregar informação, em [BP16U09] Stegmann (2012, p. 913) apresenta a tese da paridade de informação, que enuncia que, se alguma teoria da informação for aplicável para o DNA, então ela deve ser aplicável também para fatores não genéticos. Bromham (2016) também aponta em [BP26U10] a necessidade de discutir a aplicabilidade da teoria da informação para fatores não genéticos.

Além do potencial para o determinismo genético na concepção semântica da informação, ela é adaptacionista. Ao colocar a submissão a um processo de seleção natural como um critério para a manifestação de significado por um gene, apenas àqueles genes que passaram por um processo de seleção natural empiricamente evidenciado pode ser atribuído conteúdo semântico. O critério da seleção natural para atribuição de representação ao material genético também foi criticado por Lean (2013, p. 409) em [BP23U28]. O que dizer daqueles genes que se distribuíram nas populações por deriva genética, por migração ou, ainda, que não resultam em produtos proteicos? Esses genes não estão habilitados para exibir conteúdo semântico na concepção da informação semântica.

A construção da Síntese Moderna da Evolução (FUTUYMA, 2009) e a plausibilidade das explicações e hipóteses pautadas em seleção natural nos leva a dois problemas. O primeiro deles é nosso convencimento imediato de uma hipótese selecionista pelo simples fato dela fazer sentido, sem a exigência de evidências empíricas (GOULD; LEWONTIN, 1969). O segundo problema é que as narrativas de seleção natural nos convencem de que este processo evolutivo de determinação das frequências gênicas nas populações é predominante sobre a deriva genética e migração (SEPÚLVEDA; MEYER; EL-HANI, 2011). Entretanto, a

teoria quase neutra da evolução molecular nos indica que há proximidade entre a frequência de sequências do genoma provenientes de seleção natural e de deriva genética, indicando as limitações de cada processo evolutivo nas explicações das distribuições de sequências nas populações (KREITMAN, 1996). Nesta perspectiva, concluímos que a teoria da informação semântica, além de genecêntrica é adaptacionista, explicando apenas parte do pretenso conteúdo informacional do genoma.

Além das discussões apresentadas até aqui, a dimensão simbólica da informação semântica como um signo triádico aparece em [BP08U11] e [BP16U17] e será discutida com maiores detalhes no Quadro 5.

Quadro 5. Texto que apresenta a discussão acerca da possibilidade de a informação genética propriamente dita constituir um signo triádico na perspectiva da Semiótica Peirceana.

INFORMAÇÃO GENÉTICA PROPRIAMENTE DITA E SEMIÓTICA
A dimensão semiótica e a existência de um conteúdo na informação convergem com a teoria proposta pela área da Biossemiótica (EMMECHE, 1991). A Semiótica Peirceana, conforme discutido no referencial teórico, trabalha com o conceito de signo triádico. O signo apresenta um objeto, que consiste naquilo que existe e será representado; um representamen, como por exemplo, o padrão de emissão de luz em uma tela que permite o reconhecimento de uma palavra; e um interpretante, que consiste no conceito que se apresenta na consciência do intérprete ao entrar em contato com o signo, como, por exemplo, o significado da palavra que alguém reconhece na tela (EMMECHE, 1991; SANTAELLA, 2007). Emmeche (1991) esforça-se para fundamentar a aplicação da Semiótica para identificar e validar signos na natureza, construindo a área de pesquisa da Biossemiótica. O autor reconhece a possibilidade de semiose em fenômenos biológicos, principalmente naqueles que envolvem código e processamento. Neste sentido, uma célula pode ser uma entidade interpretante de signos. A teoria de Emmeche (1991) tem pretensão de ser realista. O autor acredita que a Semiótica não deve se restringir somente a fenômenos que são mediados pela consciência humana, mas possa explicar também outros fenômenos que acontecem independentemente de cognição (EMMECHE, 1991, p. 332). Apesar das semelhanças e da aparente compatibilidade entre tais relações triádicas (a da semiótica mediada pela cognição humana e a de fenômenos biológicos mediados por intérpretes não-humanos), acreditamos que existem algumas diferenças que devem impor

critérios para a aplicação da teoria Biossemiótica aos fenômenos biológicos de nível molecular.

O primeiro diz respeito à tomada de decisão. Quando o intérprete de um signo é um ser humano, a interpretação permite a elaboração de uma resposta complexa que envolve decisão. Para resolver um problema complexo, é preciso que um ser humano diagnostique em detalhes a situação e, portanto, precisará interpretar diversos signos para avaliar as possibilidades de resposta possíveis. Diante dessas possibilidades, podemos escolher aquela que julgamos a mais adequada.

Apesar de a resolução de problemas complexos nem sempre seguir um fluxo linear e sistematizado de acontecimentos, nosso sistema nervoso integrado ao restante de nosso organismo permitiu a incorporação de etapas intermediárias no processo de elaboração de respostas aos estímulos do ambiente e enfrentamento das condições ambientais que se impõem a nós enquanto organismos biológicos (DAMÁSIO, 2012). Assim, surgiram comportamentos que permitiram a sobrevivência em épocas de mudanças ambientais rápidas e de instabilidade climática (ABRANTES; ALMEIDA, 2011). As demais entidades biológicas, como uma célula, que Emmeche (1991) e Kauffman e cols. (2008) consideram possuir a capacidade de interpretar signos, não apresentam um sistema cognitivo de mediação de respostas para as informações do ambiente.

Consideramos que o fato de uma determinada sequência de bases nitrogenadas configurar-se como um produto de seleção natural não é suficiente para a atribuição de significado, representação ou semioticidade para esta molécula ou para as interações nas quais ela se engaja ao nível molecular. A sobrevivência de um organismo que apresenta uma determinada característica, que por sua vez proporcionou um aumento de *fitness* aos antepassados que também possuíam essa característica não emerge ao longo do tempo em uma população como um significado. Emerge apenas como uma mudança na distribuição de genótipos e fenótipos de forma não aleatória. Portanto, não há semioticidade ao nível molecular, mesmo em produtos de seleção natural.

Fonte: elaborado pelo autor.

Alguns autores rejeitam a concepção de informação semântica: Maclaurin (2011), conforme indicado em [BP13U02] e [BP13U06], Cofnas (2017) em [BP28U07] e Kõiv (2020) em [BP28U25]. Kaufmann e cols. (2008, p. 38) rejeitam que o DNA seja um signo, afirmando que ele é a “coisa” em si, como indicado em [BP07U24]. Kjosavik (2007, p. 348) conclui em [BP04U28] que, apesar da semelhança entre códigos humanos e o código genético, os processos que acontecem ao nível molecular se dão na ausência de uma mente,

que seria um requisito para a dimensão semântica, rejeitando, por fim, a atribuição da informação semântica aos genes.

Apesar dessa rejeição da informação semântica utilizando a presença de uma mente como critério, Shea (2007) também reconhece esta ausência, mas prossegue com considerações compatíveis com esta concepção de informação, como indicado em [BP06U02]. No mesmo sentido, Haig (2014, p. 682) aceita que as “metáforas moleculares” da vida sejam constantemente interpretadas por entidades sem consciência, como aparece em [BP21U21]. Blute (2005) argumenta que considerar o DNA como um texto é colocar essa molécula em um papel passivo e estático, conforme apresentado em [BP02U03]. Ao invés disso, o autor propõe que o DNA seja mais ativo, comparando-o com máquinas, e atribuindo a essas máquinas moleculares o desempenho de um papel dinâmico na célula, assim como apresentado em [BP02U04] e [BP02U06].

Em [BP02U09], Blute (2005) desloca a agência de outras moléculas que processam o DNA e atribui para ele uma capacidade de processamento. Algo parecido com um sistema de processamento de informação aparece também em [BP17U12], em que Wilkins, Stanyon e Musgrave (2012, p. 220) comparam a molécula de DNA com um algoritmo, que produz o fenótipo a partir de seus *outputs*. Se antes, o DNA era concebido com a informação a ser processada por outras moléculas, Blute propõe que ele seja a molécula que processa informação. Essa proposta converge com a concepção de Planner (2014) de jogos de sinalização apresentada em 2.4.7 e será discutida em maiores detalhes em 4.1.3.

Em [BP21U11], o significado da informação não se dá ao nível simbólico e molecular. Para Haig (2014, p. 681), a sequência de bases nitrogenadas do DNA passa a ter significado quando está respondendo a uma pergunta colocada pela humanidade ou quando está sendo usada de forma representativa, conforme em [BP21U35] e [BP21U36] e será discutido em 4.1.4. Neste sentido, Haig (ibid.) aceita, por exemplo, que um fragmento de DNA tenha significado quando está interagindo com um ribossomo, como em [BP21U15], mas não quando é fagocitado e digerido por uma bactéria.

Tanto na concepção da informação transmissiva, quanto na abordagem da informação semântica, concorda-se que exista uma mensagem no DNA. A existência dessa mensagem implica em desvendar quem a envia e a quem se destina (GODFREY-SMITH, 2011), como presente em [BP21U30], [BP28U11] e [BP28U17].

Bergstrom e Rosvall (2011a) afirmam que a mensagem é enviada pela geração parental para a geração F1. Entretanto, em organismos eucariotos, bem como em procariotos, determinar o consumidor da mensagem não é uma tarefa filosófica fácil, uma vez que o zigoto

é ainda uma única célula que dará origem a um novo organismo inteiro ou a geração F1 é composta por duas células divididas a partir da geração parental.

Shea (2007, 2011) afirma que, apesar dessa dificuldade, é possível determinar o consumidor, como aparece em [BP14U18] e [BP21U25]. Apesar de o DNA ser parte do organismo, Shea (2011, p. 188) divide o DNA sendo a mensagem e o restante do organismo o consumidor da mensagem, como registrado em [BP14U19]. Em Shea (2007), o autor propõe que o consumidor seja o “sistema de desenvolvimento” da célula, bem como em [BP21U29] de Haig (2014). Godfrey-Smith (2011, p. 180) faz uma crítica para esta proposta, afirmando que esse sistema se trata de uma abstração e que, tanto ao nível molecular como celular, não é possível distingui-lo. Para Godfrey-Smith (2011, p. 178), o emissor da mensagem é sempre uma célula ancestral em uma determinada linhagem, e uma proposta para o receptor é de que ele seja o processo de síntese proteica.

Em [BP17U18], [BP21U27] e [BP22U21] há uma potencial proposta de que a seleção natural seja a emissora da informação genética, ou pelo o processo responsável por “registrar” a informação no DNA. Não concordamos com essa proposta, uma vez que a seleção natural não dá origem a novidades genótípicas e/ou fenotípicas, apenas muda a frequência de sequências de bases que já foram criadas (SOBER, 1995). Os únicos processos candidatos a emissor da mensagem seriam aqueles que podem promover inovação genética, como mutações, como aparece em [BP17U19] permutação gênica e transferência horizontal de genes.

Em [BP02U10] é trazida à tona a dimensão temporal dos ácidos nucleicos. Blute (2005) compara DNA com neurônios, sugerindo que ambos estão carregados de história, no sentido de que cada um deles têm uma historicidade: não são fenômenos isolados e pontuais. Assim, as mutações que surgem no DNA sempre acontecem sobre mutações pré-existentes, e cada uma delas é um novo registro de uma organização anterior daquela molécula. Planer (2014) em [BP24U22] rejeita a ideia de que possa existir um processo de leitura/recepção ao nível celular e, conseqüentemente, em [BP24U27], rejeita que os genes carreguem informação, já que não existe informação sem um receptor.

Neste trabalho, rejeitamos a ideia de que exista um emissor e um receptor da mensagem ao nível molecular. A atribuição destes papéis para processos, moléculas e células centraliza reações que acontecem de forma descentralizada e contingente. A atribuição de uma linearidade a essas interações que acontecem ao nível molecular, a saber, a hereditariedade e a síntese de proteínas, é um esforço humano de compreender esses

fenômenos, sendo, portanto, um recurso instrumentalista mediado pela linguagem e não uma descrição realista das interações moleculares das células.

Apesar das discussões dos conceitos estruturantes da informação genética, a distinção entre o literal e o metafórico é difícil de ser estabelecida (GODFREY-SMITH, 2011, p. 177), conforme aparece em [BP12U02], [BP24U02] e [BP28U02]. Os autores investigados neste trabalho dividem-se acerca da existência ou não da dimensão informacional nas moléculas dos ácidos nucleicos. Shea (2007), conforme apontado por Kõiv (2020) em [BP28U18], e Bergstrom e Rosvall (2011b) reconhecem que aplicam os conceitos informacionais aos ácidos nucleicos de forma realista. Os autores que defendem a existência denotativa da informação genética nos ácidos nucleicos também estão representados nas unidades de registro [BP02U02] e [BP24U03].

Stegmann (2004) discute arbitrariedade, mas não se posiciona, mantendo a informação genética como algo controverso, conforme indicado em [BP01U07]. Outros referem-se aos conceitos informacionais claramente como uma metáfora, como aparece em [BP04U02] e [BP06U03] (KJOSAVIK, 2007), em [BP24U25] (PLANER, 2014) e em [BP26U06] (BROMHAM, 2016). Outros autores reconhecem as limitações explicativas da linguagem informacional derivada de e centralizadas em propriedades sequencias do DNA, mas acreditam que seu uso seja útil para a Biologia, como aparece em [BP03U10] (GODFREY-SMITH, 2007).

Por fim, alguns autores acreditam que o uso dos termos informacionais na Biologia possa constituir, nas palavras de Godfrey-Smith (2007, p. 434), um “cavalo de troia”, como aparece [BP03U11]. Moss (2003 apud. KNIGHT, 2007) rejeita a atribuição de característica informacionais ao código genético, como presente em [BP05U02]. Stegmann (2012, p. 903) aponta em [BP16U01] que os teóricos da Teoria dos Sistemas de Desenvolvimento (*Developmental Systems Theory*) permanecem céticos acerca de o DNA carregar informação a respeito do desenvolvimento. E ainda, alguns autores concordam com Levy (2011), que afirma que os termos informacionais são metafóricos, apesar de apresentar valor explicativo para a Biologia, como aparece em [BP12U20], [BP17U14] e [BP17U16]. Neste trabalho, concordamos com este último posicionamento apresentado.

4.1.3 Informação ambiental

Nesta categoria foram incluídas 35 unidades de registro. Enquanto na categoria de informação genética propriamente dita a informação está contida nos genes, nesta categoria a informação é externa aos genes: ela está no ambiente interno ou externo ao indivíduo e, por

isso, foi denominada “informação ambiental”, como indicado em [BP23U18] (LEAN, 2014). A propriedade informacional para uma entidade biológica emerge na condição de estar relacionada com alguma variável do ambiente, conforme sugerido em [BP23U20].

Essa informação do ambiente permite que o genoma emita respostas distintas de acordo com o ambiente em que o organismo se encontra. Um fator de transcrição, por exemplo, pode funcionar no ambiente celular como uma informação, o que induz um gene a reagir com a RNA polimerase, e, posteriormente, dar origem a uma proteína. Assim, a informação genética nesta categoria não diz respeito aos genes em si, mas às variáveis do ambiente que reagem direta ou indiretamente com o organismo e com os ácidos nucleicos.

Assim como as moléculas dos ácidos nucleicos, as moléculas do ambiente no qual o organismo está inserido pertencem à grande categoria de informação organizacional-molecular, pois as mesmas características descritas naquela categoria podem ser aplicadas nesta, inclusive na abordagem de informação como restrição proposta por Kauffman e cols. (2008).

Tanto a informação genética propriamente dita quanto a informação ambiental dizem respeito às mesmas reações, mas ora a ênfase está na abordagem dessas reações, enquanto um fenômeno biológico, está nos ácidos nucleicos (informação genética propriamente dita), ora está nas moléculas com as quais os ácidos nucleicos interagem (informação ambiental), conforme indicado na Figura 4 em que acrescentamos a informação ambiental no diagrama da Figura 2.

Entretanto, diferentemente da informação genética propriamente dita, que compõe um conjunto representado por moléculas que estão contidas dentro do conjunto representado pelas moléculas da categoria de informação organizacional-molecular, a categoria da informação ambiental não está contida nesta grande categoria. A relação entre a categoria da informação organizacional-molecular e da informação ambiental é de intersecção. Isso acontece porque esta última não é formada apenas por moléculas, mas também por outros componentes físicos do ambiente para os quais os organismos e ácidos nucleicos podem reagir, como ondas sonoras, energia, luz e gravidade, por exemplo, e que não estão contemplados dentro da categoria organizacional-molecular.

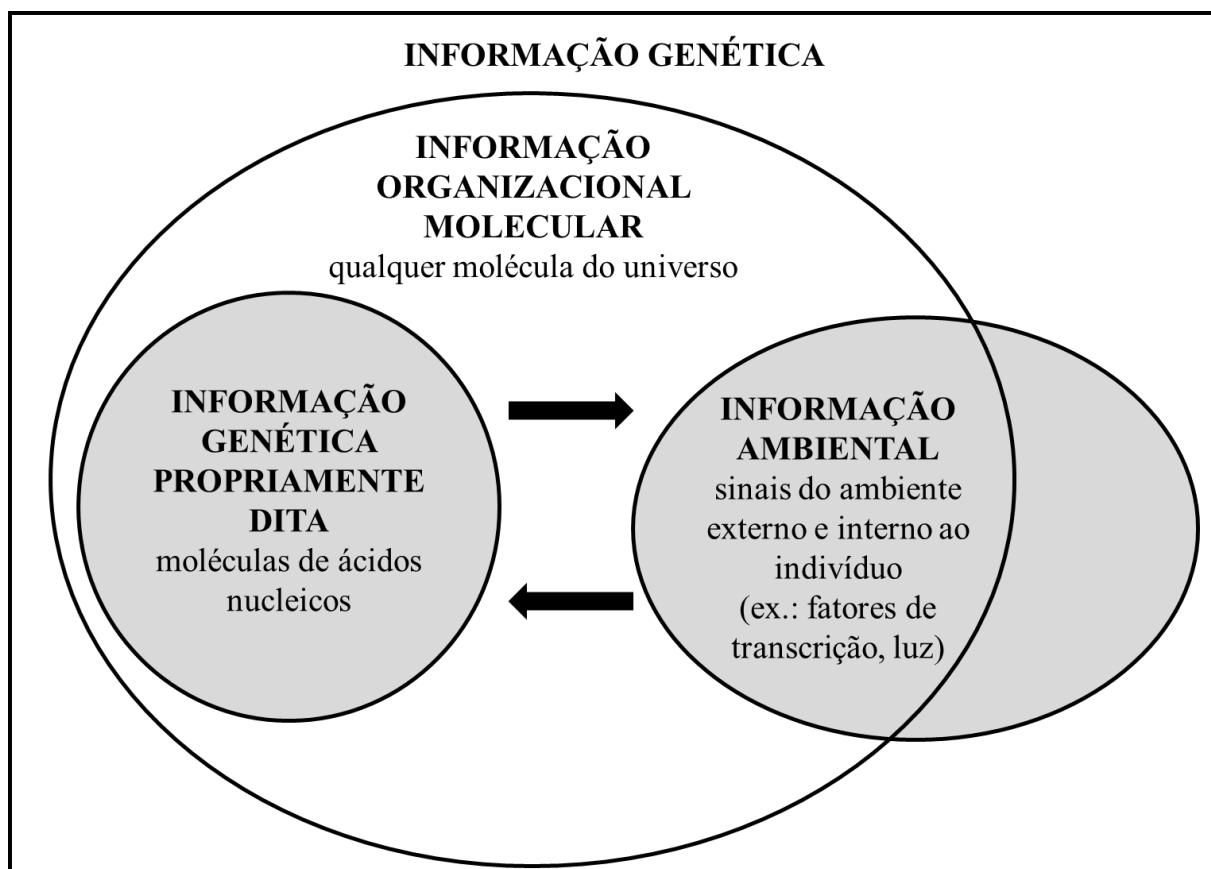


Figura 4. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo, a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos, e a informação ambiental, que abrange as demais moléculas do ambiente com as quais os ácidos nucleicos interagem e outros componentes físicos. “Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular” $\cap$ “informação ambiental”. As setas indicam as interações que acontecem entre os ácidos nucleicos e demais moléculas e variáveis do ambiente. Fonte: elaborado pelo autor.

Nesta categoria, a célula ou outra entidade biológica é concebida como uma unidade de processamento de informação. Este fenômeno consiste na interação da informação ambiental, proveniente do ambiente em que a célula/indivíduo está inserida/o, com a informação genética propriamente dita (genoma da célula) (KAUFMANN et al., 2008, p. 28). A mediação dessa interação acontece por meio da rede de reações moleculares que acontecem de forma complexa no metabolismo celular, conforme descrito em [BP07U01].

A informação ambiental pode interagir com o organismo em diferentes níveis de organização. Uma possibilidade se dá ao nível do organismo (pluricelular), em que a informação está no ambiente externo e provém de moléculas que são percebidas por qualquer forma de sistema sensorial (Informação A na Figura 5). A partir desta percepção, acontece a “conversão” da informação do ambiente externo em um padrão molecular no ambiente interno do organismo, podendo ser a entrada da própria Informação A no organismo. Ao nível celular, a Informação A é percebida pelos receptores de membrana ou entra diretamente na

célula, dando início à transdução de sinais e reações em cascata que terminam em uma Informação B que irá interagir diretamente com os ácidos nucleicos (informação genética propriamente dita), dando origem a produtos transcritos específicos. A Informação A e B podem ser qualquer componente químico ou físico do ambiente.

“Informação A” e “B” são simplificações para fazer referência a um conjunto de moléculas, padrões elétricos e demais componentes físicos dos ambientes externo e interno ao organismo. O processamento de informação pela célula é um fenômeno complexo e mediado por muitas etapas intermediárias (cf. ALBERTS et al., 2017).

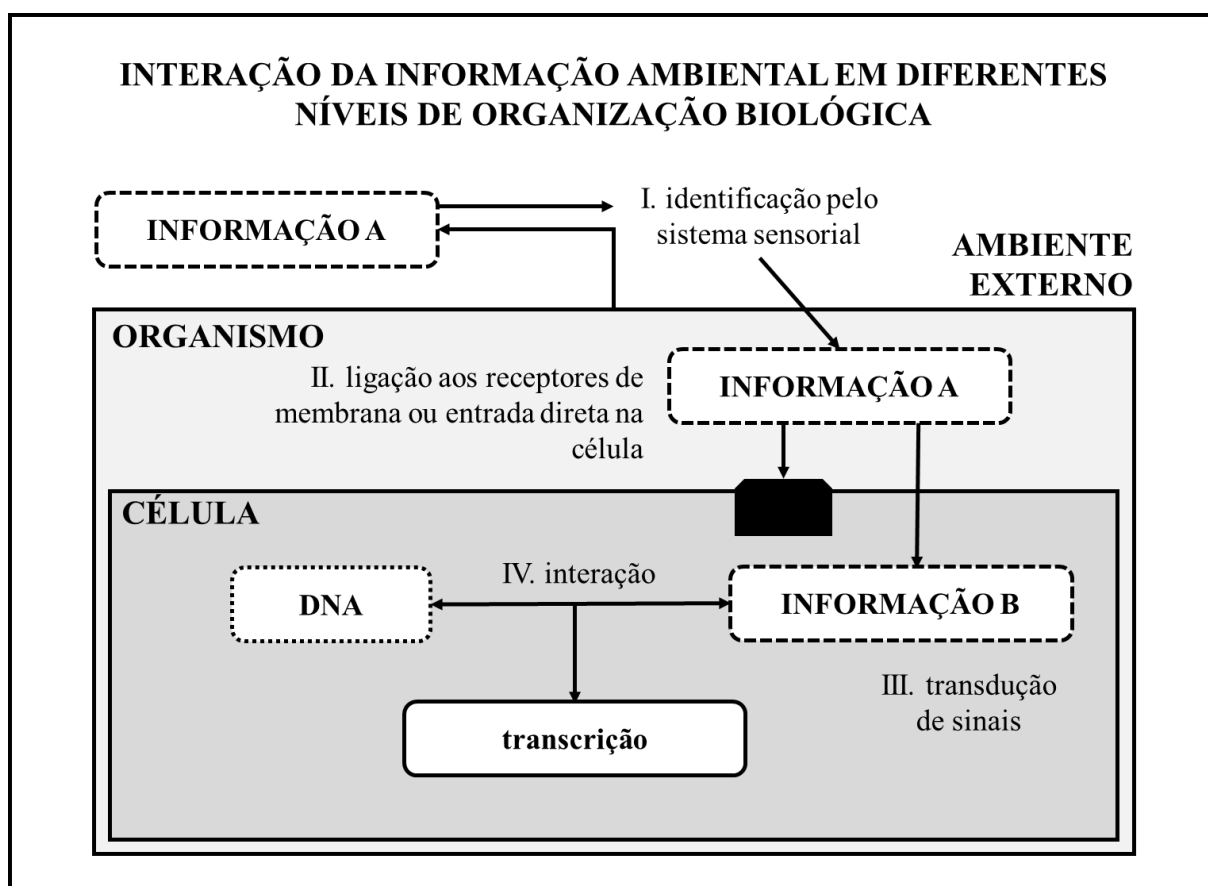


Figura 5. Diagrama da interação da informação ambiental em diferentes níveis de organização biológica. A Informação A é percebida pelo organismo por meio de seu sistema sensorial. Essa informação, que pode ser uma molécula ou outro componente físico do ambiente, como a luz, a força da gravidade ou energia, por exemplo, pode ligar-se a um receptor de membrana específico, entrar diretamente na célula ou ser percebido por uma organela. No ambiente celular, a Informação A interage com diversas enzimas e outras moléculas por meio de uma transdução de sinais, resultando em uma Informação B que irá interagir diretamente com o DNA, ativando ou inibindo a transcrição de uma sequência específica. Fonte: elaborado pelo autor a partir de Alberts et al. (2017).

Um exemplo desse processamento de informação pela célula é a percepção de luz (Informação A) pelos fitocromos em plantas. A luz vermelha atinge o citosol da célula vegetal, onde induz a autofosforilação do fitocromo. O fitocromo ativado (Informação B) entra no núcleo e ao interagir com reguladores de transcrição, modificam a transcrição de

genes como uma resposta à luz vermelha (ALBERTS et al., 2017, p. 883-885). Em [BP18U16], afirma-se que a célula identifica as informações acerca das mudanças no ambiente e seleciona a resposta mais adequada para essa mudança (MOSINI, 2013, p. 65).

A dimensão semiótica também está presente nesta categoria. Em [BP07U27], apresenta-se a possibilidade de um agente, isto é, uma célula procariótica ou eucariótica, ser capaz de interpretar o significado de informações que estão em seu ambiente. Neste sentido, a célula identifica o significado de uma molécula se tratar de comida ou de toxina, respondendo de forma adequada determinada por seleção natural (KAUFFMAN et al., 2008, p. 39), como indicado em [BP07U28]. O processo de identificação do significado de uma molécula por uma célula acontece por meio das etapas descritas na Figura 5, que equivalem àquilo que Kauffman et al. (2008) chamaram de “organização propagada”.

Conforme apresentado no Quadro 5 da seção 4.1.2, defendemos que não há dimensão simbólica nas interações, sendo que aquilo que se chama de “significado” ou “semiose” justificado pelo produto de seleção natural é uma atribuição que não se fundamenta. Um produto de seleção natural é a mudança na distribuição de genótipos e fenótipos. A manifestação dessas características fenotípicas depende de processos mediados por processos físicos, químicos e biológicos, e não simbólicos.

Ao discutir as origens da vida a partir de uma abordagem interpretativa da célula, Robinson e Southgate (2010), de forma semelhante a Kauffman e cols. (2008), indicam que a adaptação de uma célula dada evolutivamente constitui uma informação corporificada acerca de um dado ambiente, conforme presente em [BP09U06]. Nesta abordagem, até mesmo uma ribozima pode ser uma entidade interpretativa, como indica [BP09U07]. Por estar relacionada com a atribuição de propósito à interpretação signífica dada por seleção natural, esta abordagem pode ser qualificada como teleológica e, assim como as demais interpretações semióticas, envolve a possibilidade de interpretações equivocadas, assim como indicado em [BP09U08] e [BP09U09] (SOUTHGATE; ROBINSON, 2010).

A concepção de Lean (2014, p. 401) acerca da informação ambiental converge com as anteriores em relação às respostas adaptativas da célula para a informação do ambiente ser estabelecida evolutivamente, conforme indicado em [BP23U19]. Além deste aspecto, nesta abordagem, também se admite a possibilidade de “erro”. Uma vez que existe um padrão correto estabelecido por seleção natural, o fenótipo que se desvia do produto selecionado pode ser considerado “errado”, como indicado em [BP23U24] (LEAN, 2013, p. 410).

De forma semelhante à proposta de Shea (2007) de que a informação semântica pode estar errada, na proposta da identificação da informação ambiental semiótica apresentada, a

célula pode ser enganada acerca do significado da informação que identifica. Isso acontece porque uma molécula que não seja de alimento pode mimetizar uma molécula de alimento e ligar-se ao receptor de nutriente, induzindo a emissão da mesma resposta que a célula emite quando encontra alimento. Este engano pode levar a célula a consumir toxinas e, em última, instância, à morte. Afirma-se ser por meio destes processos de engano que a seleção natural acontece (KAUFFMAN et al., 2008, p. 40), conforme descrito em [BP07U32].

Neste sentido de interpretação de sinais do ambiente, a categoria da informação ambiental inclui a abordagem de Planer (2014) acerca dos jogos de sinalização, descrita em 2.4.7. Esta abordagem apareceu em algumas unidades de registro, como [BP23U33] e outras discutidas a seguir. Na concepção dos jogos de sinalização, Planer (2014) propõe a mudança na ênfase acerca de qual dos componentes envolvidos nas reações moleculares manifesta a informação. Nas concepções da informação semântica e transmissiva, propõe-se que a informação esteja armazenada no DNA (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a; SHEA, 2007), enquanto nos jogos de sinalização, os genes são os emissores e consumidores da informação, conforme indicado em [BP24U09] (PLANER, 2014, p. 34).

Na teoria dos jogos de sinalização, existem dois jogadores: um emissor (*sender*) e um receptor (*receiver*). O emissor observa uma fonte de informação que pode apresentar diferentes estados, dentro de um espectro de possibilidades. Entretanto, o emissor não é capaz de agir diretamente sobre essa fonte. Dessa forma, o emissor é capaz de escolher um sinal, dentro de um rol de possibilidades, para enviar ao receptor, que, por sua vez, não conhece a fonte, mas pode elaborar uma resposta dentro de uma gama de possibilidades a partir do sinal recebido (Figura 6) (PLANER, 2014, p. 44). A transmissão de informação genuína acontece quando o sinal enviado pelo emissor apresenta fidelidade com a resposta elaborada, tendo em vista aquilo que o emissor observa da fonte, conforme indicado por [BP24U28].

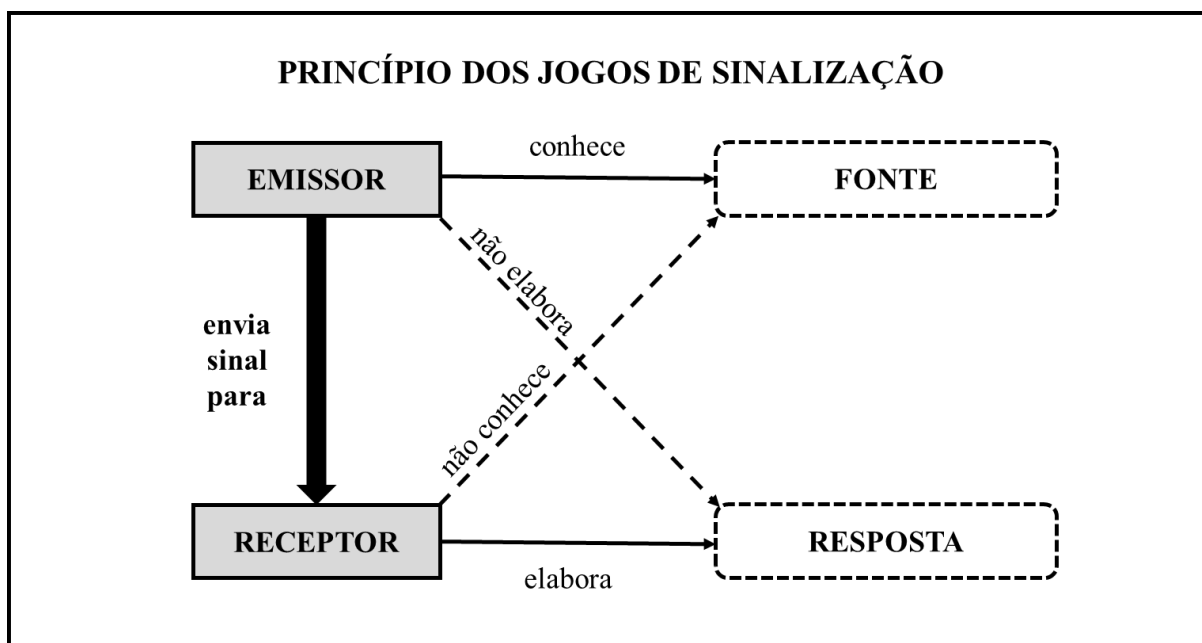


Figura 6. Diagrama do princípio dos jogos de sinalização proposto por Planer (2014). Nos jogos de sinalização existem dois agentes com características específicas: o emissor e o receptor. O emissor conhece a fonte de informação, mas não é capaz de elaborar uma resposta. Entretanto, é capaz de enviar um sinal para o receptor, que não conhece a fonte de informação, mas pode elaborar uma resposta a partir do sinal enviado pelo emissor. Fonte: elaborado pelo autor a partir de Planer (2014, p. 44).

A compreensão dos jogos de sinalização é imediata quando consideramos que eles são efetuados por agentes que processam a informação cognitivamente e estabelecem acordos prévios acerca dos significados dos sinais. Entretanto, em [BP24U29], [BP24U34] e [BP24U35], Planer (2014, p. 45) considera que agentes não sofisticados, como uma célula por exemplo, podem apresentar “interesses” a serem satisfeitos no jogo. Essas emergências acontecem por meio do processo de seleção natural sobre combinações de estratégias entre emissores e receptores, uma vez que tais estratégias são herdáveis.

Neste sentido, Planer (2014) propõe a aplicação da teoria dos jogos de sinalização para os genes, como declarado em [BP24U32]. Conforme discutido na categoria anterior, no ambiente celular existe uma rede de reações interdependentes de grande complexidade, como aparece em [BP24U33]. Nesta rede, ora os genes são jogadores do tipo “emissor”, ora são do tipo “receptor”, enquanto as proteínas podem ser classificadas como “estado da fonte”, “sinais” enviados pelos emissores ou “ações” dos receptores, como indicado em [BP24U36] e [BP24U37].

Se considerarmos, por exemplo um gene que dá origem a um fator de transcrição quando sua sequência de bases nitrogenadas é traduzida, podemos classificá-lo como emissor, pois o fator de transcrição é um sinal para outro gene, que por sua vez será o receptor. A ação do receptor a partir do sinal recebido será, por exemplo, produzir uma proteína estrutural

(PLANER, 2014). Na perspectiva dos jogos de sinalização, a produção da proteína estrutural foi a resposta para a informação da fonte observada pelo primeiro gene. Esta informação poderia ser, por exemplo, o aumento da concentração de um hormônio no citosol ou uma dada substância no ambiente em que a célula está localizada, como indicado em [BP24U39] e [BP24U40].

Resgatando o debate da categoria anterior acerca da identificação de um leitor para a informação que estaria no DNA, a aplicação da teoria dos jogos de sinalização permite uma mudança de perspectiva e a atribuição do papel de “leitor” da informação para os genes. Shea (2007) havia indicado que o consumidor da informação ambiental corporificada no DNA era uma entidade abstrata: os processos do desenvolvimento, como apresentado em [BP27U10]. Entretanto, na perspectiva dos jogos de sinalização, ao invés de genes carregarem a informação a ser lida, eles são os próprios leitores da mensagem que outros genes enviam ou que estão presentes no ambiente (PLANER, 2014, p. 50), como indicado em [BP24U41].

Esta mudança de perspectiva também permite a reconsideração daquilo é transmitido da geração parental para os descendentes. O sistema de herança genética permite que os pais transmitam para seus descendentes uma rede de agentes que processa informação e que controla o desenvolvimento por meio de uma rede de sinais (PLANER, 2014), conforme indicado em [BP24U42] e [BP24U45].

Em relação à pretensão de denotação, a teoria dos jogos de sinalização é declaradamente instrumentalista. O autor declara que “A complexa estrutura dos genes, e em particular a dos promotores dos genes, faz com que a abordagem dos jogos de sinalização não seja outra coisa além de metafórica” (PLANER, 2014, p. 47, tradução nossa). Neste sentido, entende-se que a nova perspectiva adotada para compreender os fenômenos moleculares não descreve literalmente o comportamento dos genes, mas consiste em uma abordagem que permite enfatizar determinados aspectos dessas interações, como a complexa rede de reações químicas envolvidas no metabolismo celular.

Consistindo em uma metáfora, é importante apontar aspectos incompatíveis. A teoria dos jogos de sinalização reitera uma concepção distorcida dos fenômenos moleculares já apresentados em representações textuais e gráficas para a descrição de processos fisiológicos. As representações de processos fisiológicos de nível celular sempre apresentam setas ou descrevem as interações de forma direcionada, assim como representado e descrito na Figura 5 e 7.

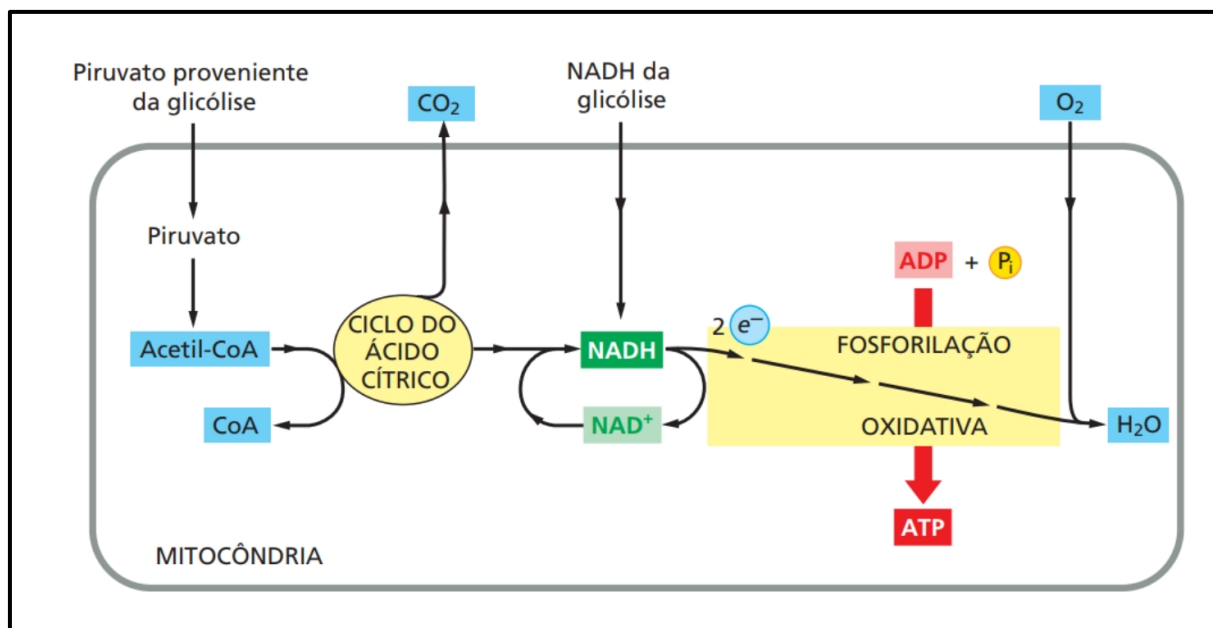


Figura 7. Exemplo de representação de processos metabólicos que concebem uma direcionalidade para as moléculas. Estágios finais da oxidação das moléculas de alimentos. As moléculas de NADH e FADH₂ (FADH₂ não está mostrado) são produzidas pelo ciclo do ácido cítrico. Esses carreadores ativados doam elétrons de alta energia que serão usados para reduzir oxigênio gasoso, formando água. A maior parte da energia liberada durante essas transferências de elétrons, que ocorrem ao longo da cadeia transportadora de elétrons na membrana interna da mitocôndria (ou na membrana plasmática de bactérias), é acoplada à síntese de ATP – daí o nome fosforilação oxidativa. Fonte: Reproduzido na íntegra de Alberts et al., 2017, p. 86.

Estas representações utilizando setas ou descrições textuais lineares organizam o pensamento e a aprendizagem, entretanto, distorcem a forma como esses processos acontecem. O fluxo de moléculas no citosol é bastante complexo e depende da interação dinâmica entre movimentos brownianos e controle do citoesqueleto por proteínas motoras (BRANGWYNNE et al., 2008; MOGILNER; MANHART, 2018). O aparente direcionamento de moléculas depende desse conjunto de interações e deve ser considerado em contextos de ensino de forma a evitar a distorção na aprendizagem do fenômeno e atribuição de causalidade linear.

É preciso identificar que localizamos essa dinâmica complexa de movimentos apenas nas interações molécula-molécula no citosol. Se mudamos o nível de organização biológica para a célula, por exemplo, conseguimos identificar um fluxo de entradas, transformações e saídas de matéria e energia do sistema biológico. Este fluxo trata-se de uma propriedade emergente a partir das interações molécula-molécula que acontecem em um nível de organização inferior.

Além dos jogos de sinalização, existe outra proposta para a informação ambiental. Alguns autores, assim como já apresentado na categoria anterior, consideram que o conteúdo da informação que está nos genes seja a respeito do ambiente por conta do processo de seleção natural, como indicado em [BP27U01], [BP27U02], [BP27U06] e [BP27U11]. Uma

vez que o processo de seleção natural reduz a frequência de fenótipos que dificultam a sobrevivência e reprodução dos indivíduos em um determinado ambiente, tendem a permanecer fenótipos que apresentam compatibilidade com as condições desse ambiente.

Por conta disso, aceita-se dizer que o material genético contém informação sobre o ambiente em um sentido representativo (COFNAS, 2017), como indicado em [BP27U07] e [BP27U09]. Entretanto, apesar de a informação do DNA ser a respeito do ambiente, a informação em questão ainda está armazenada no DNA, constituindo uma informação genética propriamente dita.

4.1.4 Informação científica

Esta categoria foi produzida a partir do agrupamento de 52 unidades de registro. Quando os autores empregam este significado da informação genética, eles referem-se a um conjunto de abordagens e técnicas de pesquisa do material genético. Assim como as medidas da concentração de oxigênio em um lago, por exemplo, fornecem para um ecólogo *informações* acerca do fenômeno a ser estudado (dinâmica das interações entre fatores bióticos e abióticos no lago), as sequências de bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos fornecem para um geneticista *informações* acerca de seu fenômeno de estudo.

Conforme apresentado por Andrade e Caldeira (2009, p. 141), “por um conjunto de informações (conclusões de pesquisas) os cientistas estabelecem relações (modelos mentais) que possibilitam construção de modelos conceituais”. Esta informação produzida a partir de fenômenos genéticos e moleculares permite que o ser humano compreenda os processos nos quais os ácidos nucleicos estão envolvidos, de modo a nos instrumentalizar de forma teórica e técnica para fazermos previsões e manipulações desses processos de acordo com os nossos interesses, conforme indicado em [BP06U09], [BP10U42], [BP17U30], [BP19U03] e [BP26U02].

Por conta do contexto de produção de conhecimento científico em que esta categoria tem origem, ela foi denominada como *informação científica*. Neste significado, a informação genética é aquilo que sabemos sobre os genes, como indicado em [BP26U04] por Bromham (2016). A Figura 8 descreve as relações entre as quatro categorias descritas até agora.

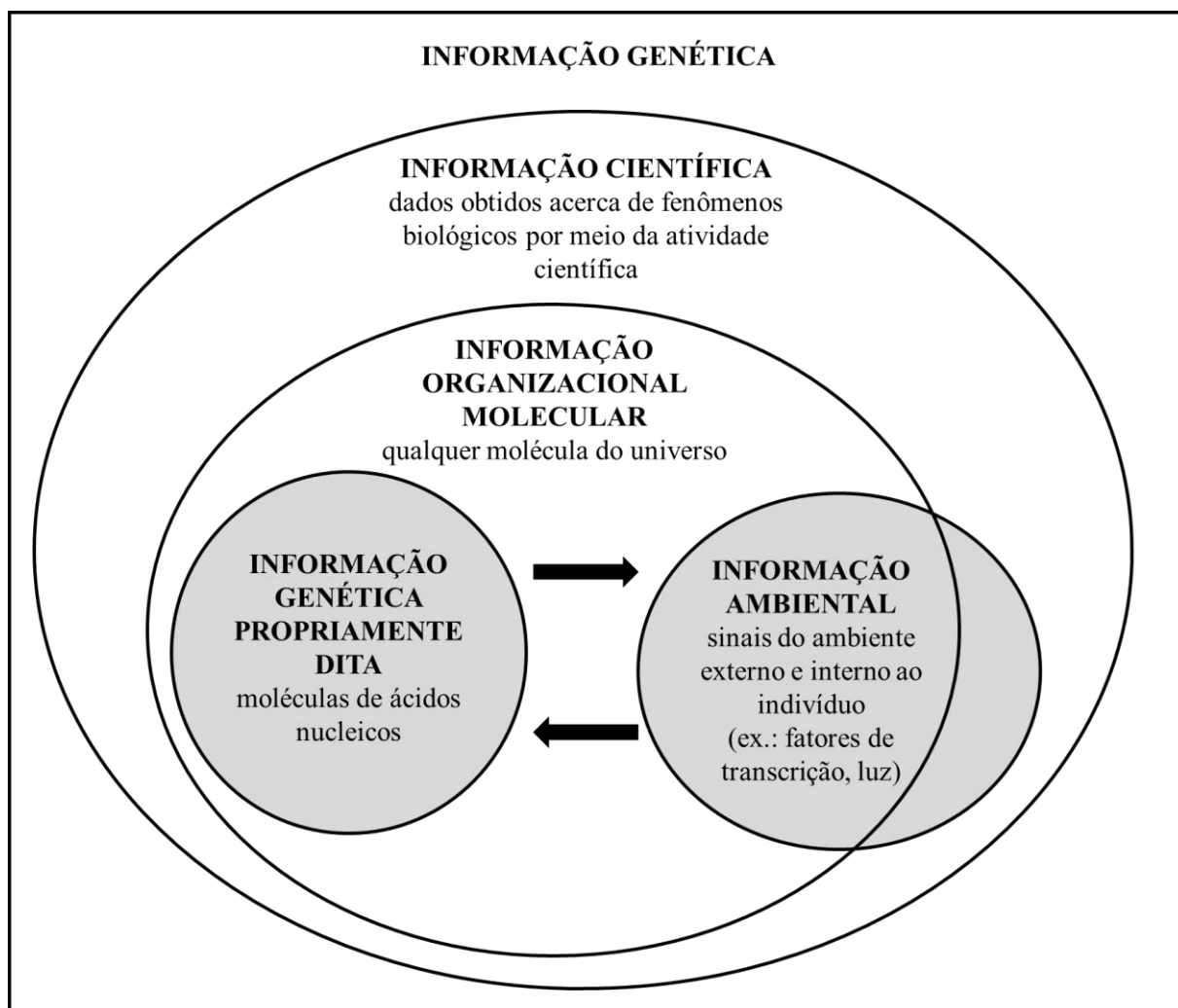


Figura 8. Diagrama de Venn da relação entre a categoria da informação organizacional-molecular, que abrange qualquer molécula do universo; a categoria da informação genética propriamente dita, que abrange as moléculas de ácidos nucleicos; a informação ambiental, que abrange as demais moléculas do ambiente com as quais os ácidos nucleicos interagem e outros componentes físicos; e a informação científica, representada pelos dados acerca dos ácidos nucleicos obtidos por meio da atividade científica. (“Informação genética propriamente dita” $\subset$ “informação organizacional-molecular” $\cap$ “informação ambiental”) $\subset$ “informação científica”. As setas indicam as interações que acontecem entre os ácidos nucleicos e demais moléculas do ambiente. Fonte: elaborado pelo autor.

Na categoria de informação genética propriamente dita, foi discutida a possibilidade de os genes apresentarem uma dimensão representativa mesmo na ausência de uma mente que pense a respeito deles. Conforme foi discutido, a biossemiótica (EMMECHE, 1991) e a informação semântica (SHEA, 2007) fundamentam a validação teórica de tal possibilidade. Entretanto, as unidades de registro apresentadas na categoria presente indicam que a atribuição de significado para a sequência de bases nitrogenadas tem como requisito um intérprete humano (KJOSAVIK, 2007, p. 348), como indicado em [BP04U27].

No contexto da descoberta da estrutura do DNA e do código genético, a sequência de bases nitrogenadas literalmente nos informava. Na década de 1950, o livro de Schrödinger *O*

que é Vida? propunha que a informação essencial da vida estava no núcleo da célula e os pesquisadores da época orientavam-se a partir desta proposta (ANDRADE; CALDEIRA, 2009). A descoberta do ácido nucleico como essa molécula que continha a informação da vida motivou a construção das metáforas descritas na informação genética propriamente dita e que será novamente discutida em 4.2.2.

Com o passar do tempo e o avanço das técnicas de sequenciamento genético desde os sequenciadores de primeira até terceira geração (HEATHER; CHAIN, 2016), tornou-se possível conhecer o genoma de diversos organismos e compará-los para diversas finalidades, como estudos ecológicos, estudos na área da saúde e de evolução. A partir do Dogma Central da Biologia Molecular, a sequência de bases nitrogenadas do DNA tornou-se um preditor confiável da sequência de aminoácidos das proteínas.

As propriedades sequenciais novamente protagonizam a emergência da dimensão informacional nesta categoria. É devido à forte associação entre uma sequência e uma proteína que, muitas vezes, pode-se prever a *função* de um gene, conforme indicado em [BP05U09]. A palavra função na sentença anterior refere-se aos processos fisiológicos aos quais a proteína originada a partir de um determinado gene está envolvida. Neste sentido, a sequência de bases nitrogenadas permite fazer determinadas previsões acerca do fenótipo (KNIGHT, 2007, p. 296).

Uma característica da informação genética enquanto informação científica é que ela pode ser estudada de forma quantitativa, conforme indicado em [BP05U10], [BP12U15] e [BP21U10]. Por se tratar de uma abordagem de pesquisa no contexto das Ciências Naturais em seu sentido positivista, os cientistas estabeleceram parâmetros quantitativos para mensurar a quantidade de informação presente nos ácidos nucleicos, atribuindo *bits* e *bytes* como as unidades (KNIGHT, 2007), assim como indicado em [BP06U18]. Aquilo que é medido, bem como a unidade, pode variar. Algumas interpretações da teoria de Shannon sugerem que aquilo que se mede é a redução de incerteza (LEAN, 2014), como indicado em [BP23U07], [BP23U09] e [BP23U10].

A teoria de Shannon é compatível com a quantificação da informação carregada por um canal, como indicado em [BP06U20] e [BP23U29]. Além disso, em [BP10U24] e [BP10U40], indica-se como essa teoria apresenta-se como uma abordagem técnica para entender o fenômeno de transmissão de informação (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a). Apesar de Bergstrom e Rosvall (2011a) apoiarem-se fortemente na teoria de Shannon para a fundamentação da informação no sentido de transmissão, eles rejeitam concepções que associam a teoria de Shannon com informação genética simplesmente pela correlação

existente entre genótipo e fenótipo. Conforme argumento apresentado em [BP10U43] e [BP10U44], rejeita-se que essa correlação possa emergir em uma propriedade teleossemântica ou transmissiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 169). Ao invés disso, os autores apropriam-se da fundamentação matemática de teoria, como indicado em [BP11U08] e [BP13U13] (BERGSTROM; ROSVALL, 2011b, p. 199).

A teoria de Shannon elimina a necessidade de o DNA ter sido submetido a um processo de seleção natural para ser considerado um transmissor de informação, uma vez que há um valor matemático intrínseco, como apontado em [BP23U35]. Esta desnecessidade é divergente do adaptacionismo da informação semântica, conforme crítica apresentada na categoria de informação genética propriamente dita. Neste sentido, Lean (2014, p. 412) sugere que as abordagens semânticas sejam metafóricas e as matemáticas sejam denotativas, como apresentado em [BP23U37] e [BP23U39].

A abordagem matemática do fenômeno permitiu a analogia da informação genética com a informação armazenada em computadores. Esta possibilidade não se mantém apenas ao nível teórico. O código genético pode armazenar informações digitais, por meio da conversão da informação em código binário para bases nitrogenadas. Takahashi e cols. (2019) demonstraram empiricamente a viabilidade dessa possibilidade, indicando que o DNA é uma tecnologia alternativa e mais eficiente para a armazenagem de dados. Apesar de ainda ser mais cara e necessitar de automação, já foi possível armazenar fotos, vídeos e palavras em moléculas de DNA. Esta nova aplicação da molécula de DNA valida a atribuição de propriedades informacionais no sentido denotativo para esta molécula.

Entretanto, é preciso reiterar que a atribuição de um sentido informacional conversível em código binário para o DNA é um empreendimento essencialmente humano. O código binário é uma criação humana, e a identificação das reações moleculares como um código genético é também uma percepção humana construída cientificamente. Ao dominar os dois códigos, os pesquisadores conseguem manipular o DNA atribuindo significados de acordo com os interesses sociais e de pesquisa.

Cada contexto requer um código. Uma mesma sequência de bases nitrogenadas exibirá significados diferentes quando decodificada pelo código genético e pelo código binário. Assim, a humanidade consegue manipular o DNA para produzir organismos geneticamente modificados por meio do código genético, bem como consegue manipulá-lo para armazenar arquivos digitais por meio da conversão de código binário em bases nitrogenadas. Em [BP07U20], Kauffman e cols. (2008, p. 37) afirmam que informação é uma ferramenta e se

aplica a diferentes contextos. A possibilidade de conversão de informação do genoma em diversos formatos também é apontada em [BP26U12] por Bromham (2016, p. 116).

Tanto em contexto orgânico e genético, quanto em um contexto digital *in silico*, a intencionalidade é um critério da aplicação técnica, como citado na unidade de registro [BP06U23]. A manipulação dos fenômenos pela Ciência e Tecnologia é uma atividade que requer planejamento e antevisão e, por isso, é possível apenas quando mediada pela razão humana. Quando pensamos que a propriedade do DNA como um canal de informação foi uma atividade determinada pelos humanos, é possível identificar produtores, consumidores e etapas intermediárias da informação, como indicado em [BP06U32] e [BP21U14].

O ser humano é o produtor e o consumidor que intencionalmente utilizou o DNA para codificar uma mensagem e enviá-la para outro ser humano. A concepção de Sterelny e Griffiths acerca da definição de um produtor e um consumidor da informação convergem com esta categoria (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 162). Em [BP10U17] os autores escrevem que a determinação desses papéis é relativa e depende dos nossos interesses de pesquisa. Acrescenta-se a essa ideia, a inferência como uma operação lógica necessária para o estabelecimento de correlações entre causa e efeito (HAIG, 2014, p. 681-682), como indicado em [BP21U17].

Assumindo a atribuição de informação para o DNA como uma atividade essencialmente humana, é possível até mesmo eliminar a necessidade de um produtor da informação. Nem toda informação é produzida, uma vez que o ser humano pode identificar qualquer variável do ambiente como uma informação relevante. Por meio da atividade de pesquisa científica, obtemos informações dos mais diversos fenômenos, como a altura de uma árvore, a conformação molecular de uma proteína do plasma sanguíneo humano ou até mesmo um sistema de hierarquia em uma tribo indígena. Nenhum desses itens teve em seu contexto de origem, uma intenção informativa, mas, por meio da investigação científica, a humanidade identificou de forma ativa nesses fenômenos, o potencial de constituir um dado de pesquisa com valor informativo.

Além do contexto de previsão da sequência de aminoácidos e de armazenamento de arquivos digitais, a sequência de bases nitrogenadas nos fornece informação científica acerca da história de evolução de uma população, como indicado em [BP10U45] (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 169). Neste sentido, é possível fazer análises de genômica comparativa para descrever os processos evolutivos de uma dada população, identificando eventos de especiação, por exemplo, como indicado em [BP15U04]. Esta abordagem de investigação acontece essencialmente ao nível populacional, uma vez que, investigando um único

indivíduo não é possível efetuar conclusões comparativas, como registrado em [BP10U46] (ibid.).

Bergstrom e Rosvall (2011a) preocupam-se em diferenciar essa informação histórica, com valor informativo em um contexto científico, da informação no sentido transmissivo que eles propõem, como indicado em [BP10U47]. Neste segundo sentido, a informação está sendo transmitida pelos genes mesmo na ausência de uma consciência humana que se direcione a ela, e por isso é enquadrada como informação genética propriamente dita no agrupamento realizado neste trabalho. Esses dois significados, de acordo com os autores, seriam incompatíveis porque, na informação histórica, as conclusões estabelecidas a partir da comparação de bases nitrogenadas acontecem por correlação e, portanto, não se configuram como informação transmissiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 169-170), como presente em [BP10U48]. Esta separação semântica entre dois significados de informação apontados pelos autores converge com a epistemologia utilizada para a construção de nossas categorias.

Acerca da informação histórica, Bromham (2016) reitera sua importância. Em [BP26U15], o autor sugere que todo gene carrega uma informação histórica, mesmo que se trate de uma sequência não funcional. Neste caso, o consumidor da informação é essencialmente um pesquisador teórico e praticamente formado para interpretar devidamente uma sequência de bases nitrogenadas como uma informação sobre um acontecimento do passado, como indicado em [BP26U16] e [BP26U17]. O autor também indica que, apesar de nem sempre as sequências fornecerem uma informação acerca do fenótipo, como indicado em [BP26U19], elas são mais confiáveis que o ambiente para se extrair informações fenotípicas, como sugerido em [BP26U20].

Separa-se, ainda, assim como discutido na categoria de informação genética propriamente dita, as possibilidades de estudar a forma como a informação é transmitida e o que essa informação representa, como indicado em [BP10U49]. Neste sentido, as investigações acerca do código genético não constituem uma investigação semântica, como presente em [BP10U50] e [BP12U14] (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a, p. 170). Ambas formas concebem a informação como uma entidade realista e estariam enquadradas na seção 4.1.2. Entretanto, em [BP20U07], Stegmann (2013, p. 143) aponta a permanência da informação transmissiva em um nível metafórico. Por fim, em Bergstrom e Rosvall (2011b, p. 200), ou autores exemplificam mais uma aplicação da informação como uma ferramenta de investigação científica: a área de estudo da rede de informação (*networking information*) em uma abordagem semelhante à dos jogos de sinalização, como indicado em [BP11U11].

Em [BP08U17], explica-se que o uso excessivo de metáforas textuais empregadas até mesmo pelos profissionais da área da Genética pode contribuir para a construção de um determinismo genético que pode violar a ética e, portanto, deveria ser reconsiderada para dar abertura para abordagens mais plurais da causação fenotípica (PRIDMORE, 2008, p. 586).

Conforme indicado em [BP16U16], Stegmann (2012) sugere que os conceitos informacionais aplicados aos fenômenos moleculares, motivados pela orientação da década de 1950, sejam metafóricos. Wilkins, Stanyon e Musgrave (2012) apontam a utilidade prática de conceber os processos moleculares que contribuem para a construção do fenótipo em termos informacionais e reiteram a importância de concebê-los metaforicamente para não reproduzir inconsistências epistemológicas, como indicado em [BP17U06] e [BP17U15].

Portanto, nesta categoria, entendemos como literal o sentido da palavra informação apenas em frases como “a sequência de bases nitrogenadas do RNAm é uma informação acerca da sequência de aminoácidos de uma proteína”; “informação genética, para nós seres humanos, é a sequência de bases nitrogenadas de um material genético”. Quando a dimensão representativa da sequência de bases nitrogenadas adquire significados apenas quando processados pela mente humana, podemos dizer que a palavra informação está sendo usada de forma denotativa.

4.2 SÍNTESE CRIATIVA: EPISTEMOLOGIA DA INFORMAÇÃO GENÉTICA E LINGUAGEM

Tendo apresentado as quatro categorias de informação genética e discutido suas características que surgiram nas unidades de registro, agora será discutida a forma como esses quatro significados se articulam em um único fenômeno e constituem um todo integrado. Para debruçarmo-nos sobre essa tarefa, primeiro o fenômeno será caracterizado e em seguida será discutido como a atividade científica organiza-se para investigá-lo.

A análise de conteúdo permite-nos inferir que o fenômeno a ser investigado nos artigos analisados é a interação entre organismos e seus ambientes ao nível molecular. O material genético é uma molécula altamente estável que se engaja em diversas reações no metabolismo celular e culmina em respostas elaboradas ao nível do organismo para o enfrentamento das condições do ambiente interno e externo em que ele está inserido (MEGLHIORATTI; EL-HANI; CALDEIRA, 2012; PLANER, 2014; SHEA, 2007; 2011).

Ao longo do tempo, permanecem no tempo e no espaço aqueles organismos e seus respectivos descendentes que exibem padrões de respostas para as condições do ambiente que permitam que eles sobrevivam e se reproduzam. Para que o desempenho dos descendentes

seja semelhante ao dos pais, é preciso que os processos que garantem a sobrevivência e reprodução dos pais sejam herdáveis (TOWSEND; BEGON; HARPER, 2010, p. 56). O material genético assegura a estabilidade na herança genética e a semelhança entre geração parental e descendentes, apesar de não ser a única forma de herança (cf. Ceschim e Ganiko-Dutra, 2020).

Essas interações enquanto fenômenos biológicos podem ser abordados em um dado nível de organização e em um recorte de tempo (WANDERSEE; FISHER; MOODY, 2000). Em relação à organização biológica, a ênfase pode ser ao nível molecular, celular, tissular, orgânico, do organismo, populacional, de comunidades, ecossistêmico ou da biosfera. Em relação ao recorte temporal, a ênfase pode ser no tempo fisiológico (menor que o tempo de vida de um organismo), ontológico (ao longo do tempo de vida de um organismo) ou evolutivo.

O interesse de uma determinada disciplina em estudar um determinado fenômeno depende de fatores culturais. A ciência é constituída por uma parte material, formada por laboratórios de pesquisa, livros, artigos e bibliotecas, por exemplo; bem como por uma parte intelectual, formada por disciplinas (FOUREZ, 1995). As disciplinas definem seus objetos de estudo de acordo com o interesse cultural em estudar um determinado fenômeno a partir de uma abordagem específica. Com o passar do tempo, as técnicas empregadas por uma disciplina podem tornar-se obsoletas ou insuficientes para responder novas perguntas de pesquisa colocadas pelo próprio conhecimento produzido por ela. Neste caso, é comum surgirem novas disciplinas, com novas técnicas e novas abordagens para investigar os problemas colocados (ibid.).

Defendemos que as disciplinas biológicas têm origem a partir da combinação de uma ênfase em um nível de organização biológico com um recorte temporal. Desta forma, a Genômica Comparativa, por exemplo, estuda a distribuição de genes ao nível populacional ao longo do tempo evolutivo. A Ecologia estuda as interações em níveis superiores ao organismo, como populacional, de comunidades e ecossistêmico, com ênfases em recortes temporais distintos.

Acreditamos que as interações biológicas em diversos níveis de espaço e tempo constituam um eixo integrador do conhecimento biológico. Apesar de as disciplinas “tradicionais” da Biologia apresentarem ênfases analíticas para responder determinados problemas de pesquisa cientificamente estabelecidos, os fenômenos estudados nunca são isolados de outros níveis de organização biológica e do impacto de e em diferentes recortes temporais. A Fisiologia Celular, por exemplo, pode estudar interações ao nível celular no

tempo fisiológico, mas não se pode ignorar que tais interações têm uma reverberação nas respostas que o organismo manifesta, que, por sua vez, reverberará na comunidade em que ele está inserido e que tais interações ao longo do tempo evolutivo acarretarão em mudanças nos organismos e nos ambientes.

Historicamente, as disciplinas biológicas eram fragmentadas e respondiam perguntas de pesquisas isoladas, como por exemplo a Zoologia, a Botânica, a Morfologia, a Fisiologia, a Genética, etc. Entretanto, a tendência é que cada vez mais elas se articulem, uma vez que os problemas colocados pela Biologia contemporânea demandam soluções sistêmicas e complexas, e não analíticas (SOARES; NAVARRO, FERREIRA, 2004). É importante considerar que as disciplinas tradicionais produziram o conhecimento suficiente para originar novos problemas de pesquisa que elas mesmas tornaram-se insuficientes para responder.

Evidências do surgimento de disciplinas que articulam diversos conhecimentos dentro da Biologia e lançam um novo olhar sobre os fenômenos biológicos, são a Genômica Ecológica e a Epigenética Ecológica, por exemplo. A Genômica Ecológica investiga a forma como genes interagem com o ambiente ao longo dos tempos fisiológico e evolutivo (LANDRY; AUBIN-HORTH, 2014). A Epigenética Ecológica investiga como processos epigenéticos são importantes mediadores da variação fenotípica em populações naturais (KILVITS et al., 2004).

Diante destas considerações, é possível diferenciar (I) o fenômeno e (II) a forma de investigá-lo cientificamente. Para a Fenomenologia, um fenômeno é aquilo que se apresenta para a consciência, podendo ou não ser um objeto no mundo físico (MOUSTAKAS, 1994). A Ciência constrói modelos para representar esses fenômenos. Os modelos são imperfeitos, mas permitem que os seres humanos apreendam a realidade e manipulem os fenômenos de acordo com seus interesses (FOUREZ, 1995). No caso da informação genética, tratam-se de modelos que investigam fenômenos que existem no mundo físico e se manifestam por meio da matéria e energia.

Desta forma, as categorias da informação organizacional-molecular, da informação genética propriamente dita e da informação ambiental são modelos para explicar as interações mediadas pelo organismo entre material genético e ambientes ao longo do tempo e de níveis de organização biológica. A categoria da informação científica descreve uma ação humana: a forma como os seres humanos fazem ciência e se debruçam sobre a investigação desse fenômeno, e não a descrição do fenômeno em si. A Figura 9 ilustra a distinção entre o fenômeno e a investigação científica.

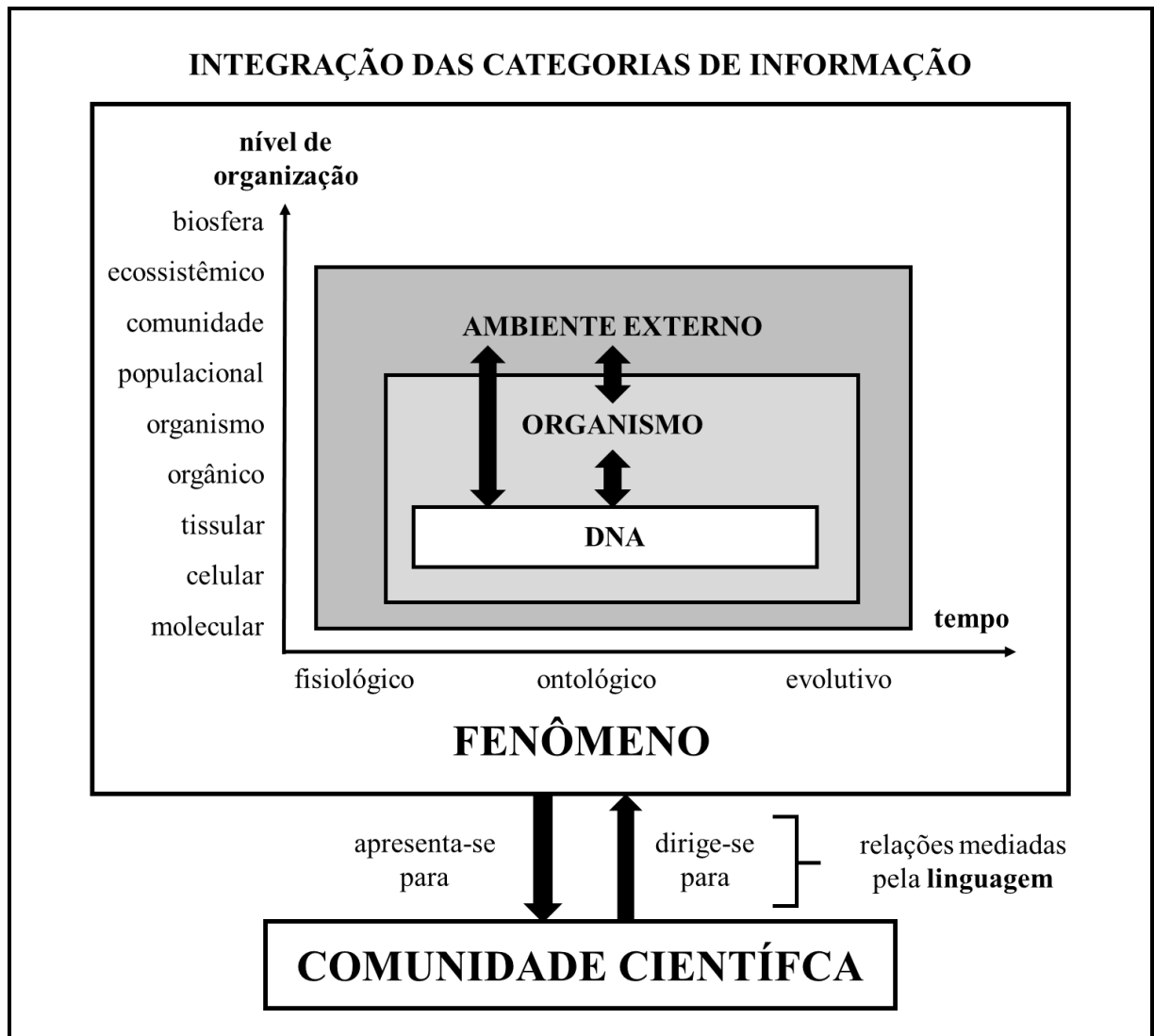


Figura 9. Representação dos fenômenos investigados pela Biologia e a relação com atividade científica. O fenômeno trata-se das interações estabelecidas pelos organismos na mediação entre ambiente externo e interno ao longo do tempo e em diversos níveis de organização biológica, como indicado na caixa denominada “fenômeno”. A comunidade científica, dedica-se a investigar esse fenômeno por meio de métodos e teorias. As setas indicam as interações recíprocas. A palavra “informação genética” é utilizada para descrever tanto os aspectos do fenômeno, quanto a atividade científica de investigação do fenômeno. Fonte: adaptado de Meglhioratti, 2009.

A ciência alcança um nível elaborado de representação dos fenômenos por meio da linguagem mediada por palavras. Porém, neste caso em específico, a mesma linguagem é utilizada para representar (I) diferentes aspectos do fenômeno e também (II) o processo de investigação que a comunidade científica emprega para conhecê-lo.

O problema epistemológico inicialmente identificado é que o termo “informação genética” era superficial e carecia de definições. Por meio da análise de conteúdo conseguimos distinguir diferentes significados para esta expressão que separamos nas quatro categorias descritas. Desta forma, concluímos que o termo “informação genética” é

polissêmico e, a partir da análise dos dados na seção 5.1 identificamos possibilidades de usos metafóricos.

Tendo em vista o potencial da polissemia e das figuras de linguagem para a promoção de distorções conceituais (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020), é necessário realizar um esforço filosófico de identificar a dimensão conotativa ou denotativa de cada significado de informação genética empregada no conhecimento científico para, então, discutir tais implicações para o Ensino de Biologia.

4.2.1 Polissemia

A polissemia consiste na evocação de mais de um significado a partir de uma mesma palavra (FILLMORE, 2006). Ceschim, Ganiko-Dutra e Caldeira (2020) diferenciam dois tipos de polissemia presentes no discurso biológico: cotidiano *versus* científico e científico *versus* científico. A seguir, descrevemos alguns exemplos.

No contexto cotidiano, a palavra “evolução” tem um significado de progresso e melhora. Este significado é construído a partir das experiências de vida dos estudantes. Entretanto, a Biologia faz um uso diferente dessa palavra, no qual ela significa “descendência com modificação”. Em um contexto de ensino, o professor de Biologia precisa construir um novo significado para esta palavra, para que os estudantes atribuam para o contexto científico aspectos do significado desta palavra no contexto cotidiano (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020, p. 5-6).

Além da polissemia nos contextos cotidiano *versus* científico, apenas em um contexto científico, existem palavras que apresentam significados distintos. Um exemplo, é a palavra “adaptação”, que pode significar adaptação evolutiva, adaptação fisiológica e adaptação sensorial. Tratando-se de uma polissemia, novamente, é importante definir os contextos com precisão para evitar a indevida atribuição de aspectos de um significado para outro, causando distorção conceitual por polissemia (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, p. 6-7).

A partir da análise dos artigos do periódico *Biology and Philosophy* de 2000 a 2020, identificamos que os autores podem usar o termo “informação genética” para referirem-se a quatro significados distintos dentro do contexto científico. Dentro de uma mesma discussão, acreditamos que os autores podem cruzar diversos significados, causando distorção conceitual por polissemia e turvando o debate acerca da definição de informação genética.

O uso polissêmico da palavra informação acontece, por exemplo, em Kauffman e cols. (2008). Os autores usam a mesma palavra para descrever a informação organizacional-molecular, como em [BP07U04], [BP07U05], [BP07U06], [BP07U07] e [BP07U08]; para

descrever a informação genética propriamente dita, como em [BP07U02] e [BP07U03]; para descrever a informação ambiental, como em [BP07U01], [BP07U27] e [BP07U28]; e para descrever a informação científica, como em [BP07U20]. Nestes usos da palavra informação, nem sempre o contexto foi devidamente diferenciado, podendo causar distorção conceitual por polissemia.

Ao contrário, Planer (2014) usa a palavra informação em dois significados diferentes, mas os separa epistemologicamente, permitindo a diferenciação dos contextos. O autor utiliza a palavra informação como sinônimo de informação genética propriamente dita em [BP24U02], [BP24U03], [BP24U04], por exemplo; e como sinônimo de informação ambiental em [BP24U09], [BP24U28] e [BP24U34], por exemplo.

A não definição do contexto de uso de uma palavra pode corromper a finalidade da comunicação. Em se tratando do conceito de “informação genética” e dos quatro significados identificados pela análise de conteúdo, não se pode esperar que o receptor da comunicação entenda qual foi o significado utilizado pelo contexto, uma vez que, para as quatro categorias, o contexto é sempre o mesmo: o genético. Dessa forma, é preciso remover a ambiguidade do termo para garantir a fidelidade entre a intenção de comunicação do emissor e a interpretação da mensagem pelo receptor.

Acreditamos que as denominações propostas neste trabalho possam ajudar a contextualizar os usos da palavra informação e remover a ambiguidade no discurso cotidiano, científico e didático.

4.2.2 Metáfora

A metáfora permite que um conceito seja entendido por meio de outro que já é conhecido. Assim, X (conceito a ser entendido) pode ser entendido por meio de Y (conceito já conhecido). Chamamos X de domínio alvo e chamamos Y de domínio fonte, ou seja, o domínio conceitual que já se conhece e estruturará a compreensão do domínio alvo X (LAKOFF; JOHNSON, 2008).

A metáfora consiste não apenas em uma figura de linguagem, mas em uma forma de estruturar nosso pensamento. Lakoff e Johnson (2008) indicam alguns exemplos da forma como nosso pensamento é estruturado metaforicamente, como, por exemplo, a metáfora de que “tempo é dinheiro”. Neste sentido, falamos do tempo como se falássemos de dinheiro (“poupar tempo”, “economizar tempo”, “investir tempo”, “ganhar e perder tempo”). Entretanto, à medida que a metáfora evidencia aspectos do domínio fonte que estruturam a

compreensão do domínio alvo, ela oculta aspectos do domínio fonte que são incompatíveis com o domínio alvo (ibid.).

Nas categorias analisadas, encontramos possíveis usos metafóricos naqueles significados que utilizam conceitos informacionais para representarem o fenômeno em si. Conforme discutido na Figura 9, essas categorias são: a informação organizacional-molecular, a informação genética propriamente dita e a informação ambiental. Entretanto, na primeira e na última, identificamos que os autores utilizam os conceitos informacionais de forma instrumentalista. Alguns autores constroem uma lente teórica para enxergar o fenômeno e conseguem perceber tratar-se de uma abordagem de estudo, mas não do fenômeno propriamente dito, como indicado em [BP07U22] por Kauffman e cols. (2008) para a informação organizacional-molecular e em [BP24U37] por Planer (2014) para a informação ambiental.

Consideramos que o não reconhecimento do uso de termos informacionais como um instrumento para interpretação da realidade pode causar distorções conceituais no discurso científico e didático, como no caso da informação genética propriamente dita, e, por isso, será acerca desta categoria que nos dedicaremos para descrever em termos de uma metáfora estruturada a partir do referencial teórico de Lakoff e Johnson (2008).

Acreditamos que os conceitos informacionais permitam que estructuremos nossa compreensão a respeito dos fenômenos moleculares nos quais os ácidos nucleicos estão envolvidos, da mesma forma, que tais conceitos ocultam aspectos incompatíveis da linguagem informacional com estes processos biológicos.

A metáfora em questão que esteve sob investigação na seção 4.1.2 é a de que “DNA é/ contém informação”. Para compreender a origem desta metáfora, é preciso entender que os conceitos metafóricos são sistemáticos (LAKOFF; JOHNSON, 2008, p. 7-9). Nesta perspectiva, estruturar um conceito por meio de outro, permite estruturar uma hierarquia de conceitos metafóricos.

Diante deste quadro teórico, a metáfora de que “DNA é/ contém informação” parece derivar de metáfora que identificamos na Biologia de que “células se comunicam” (LEVY, 2011). Assim, as células enviam e recebem mensagens. Essas mensagens são transportadas por moléculas. Da mesma forma que as informações são recebidas externamente pelas células, elas elaboram respostas mediando a mensagem recebida, utilizando a mensagem que a própria célula contém e que está armazenada no DNA, como indicado em [BP07U01] por Kauffman e cols. (2008). O DNA também pode ser percebido como uma mensagem enviada da célula mãe para as suas células filhas, como indicado em [BP01U08] por Stegmann (2004).

O domínio fonte do qual os conceitos são emprestados para entender o domínio alvo é a área da comunicação (LEVY, 2011). A este respeito, Santaella (2020) escreve:

Só há comunicação quando algo é intercambiado de uma mente a outra. Com isso, visa-se a produzir algum tipo de influência ou algum tipo de mudança nos polos dessa relação. Mas só pode haver transformação quando aquilo que é intercambiado contém alguma espécie de conteúdo que, comumente, é chamado de informação ou mensagem. Estas se corporificam em signos de alguma espécie: verbais, visuais, sonoros ou na mistura deles. Para serem capazes de informar, os signos precisam estar, de algum modo, codificados de maneira compartilhada. Para serem intercambiados, por sua vez, dependem de canais, veículos ou meios de transporte. Os intercâmbios não são necessariamente unilaterais. Ao contrário: na maior parte das vezes, há trocas entre os dois polos. (SANTAELLA, 2020, p. 7-8)

Neste excerto, podemos notar alguns conceitos essenciais para que exista comunicação: cognição (“de uma mente a outra”), finalidade (“visa-se a produzir algum tipo de influência”), conteúdo ou informação, códigos compartilhados e canais ou veículos de transmissão.

As metáforas permitem a execução de ações com o domínio alvo semelhantes às ações executadas com o domínio fonte. Assim, a partir da metáfora de que “DNA é/carrega informação”, ele pode ser *lido*, *interpretado*, *transcrito*, *traduzido*, *codificado*, *copiado*, *enviado*, *medido* quantitativamente e *transmitido*, por exemplo. Por meio dessas ações, estruturamos nossa compreensão acerca dos fenômenos moleculares e celulares nos quais o DNA se engaja, bem como conseguimos manipular esses fenômenos.

A construção das metáforas acontece por meio da experiência e da cultura (LAKOFF; JOHNSON, 2008). No caso da informação genética, ela está culturalmente enraizada dentro da comunidade científica, incentivada principalmente por Schrödinger, que propôs no livro *O que é vida?* que as informações da vida estivessem contidas no núcleo da célula, conforme discutido anteriormente (ANDRADE; CALDEIRA, 2009).

Esta metáfora permitiu que entendêssemos as correspondências entre bases nitrogenadas e aminoácidos por meio de um *código*. Assim, compreendemos a síntese de proteínas como a *transcrição* e *tradução* da *informação* genética contida no DNA, um *veículo* para a *transmissão* dessa informação.

Apesar de essas associações facilitarem nosso acesso cognitivo a esses fenômenos, a metáfora oculta aspectos incompatíveis entre o domínio da comunicação e do domínio biológico. Identificamos quatro aspectos incompatíveis, originados a partir do emprego dos termos informacionais convergentes com a análise de Levy (2011), que discutiremos a seguir.

O primeiro aspecto incompatível entre informação e DNA, passível de causar distorção conceitual é o fato de que nos ácidos nucleicos não há representação, portanto, não existe conteúdo. Novamente, é preciso voltarmos ao fenômeno que queremos compreender (Figura 9). Trata-se do conjunto de reações químicas que acontecem ao nível celular, em que uma das moléculas é o DNA, e que emergem em determinados padrões ao nível do organismo, permitindo a mediação entre seus ambientes interno e externo. Neste sentido, “o DNA não é um signo para alguma outra coisa, ele é a coisa em si” (KAUFMANN et al., 2008, p. 38).

A metáfora estrutura o conceito de forma que nos faz acreditar que a informação que está presente no DNA representa alguma outra “coisa”, como o fenótipo e as condições ambientais em que ele é adaptativo (WONG, 2020); ou uma ordem acerca de qual proteína deve ser produzida, como indicado em [BP24U04] (PLANER, 2014). Conforme indicado no parágrafo anterior, o DNA é apenas uma molécula que nada representa. Quando direcionamos nosso pensamento racional para o DNA conseguimos estabelecer essas relações, como a sequência de bases nitrogenadas e a sequência de aminoácidos da proteína a ser produzida. Entretanto, estas associações lógicas que estabelecemos não configuram uma dimensão representativa do material genético.

O segundo aspecto incompatível estruturado pela metáfora é de que exista um emissor e um receptor da informação genética. Em relação ao emissor, mesmo que aceitássemos que a informação genética fosse a sequência de bases nitrogenadas, o emissor da mensagem seria a “entidade” que criou essa sequência. A origem de inovações genéticas acontece por meio de mutações, *crossing-over* ou fenômenos como transferência horizontal de genes (CESCHIM; GANIKO-DUTRA, 2020; SOBER, 1995). Tais inovações que alteram as sequências gênicas não configuram uma “emissão de mensagem”, mas sim, apenas interações moleculares e celulares. Apesar de alguns autores sugerirem que a seleção natural seja a responsável pela produção da informação, como indicado em [BP04U22] (KJOSAVIK, 2007), aceitamos que a seleção seja responsável apenas pela distribuição de genótipos e não pela criação (SOBER, 1995).

Já a atribuição do papel de leitor ou consumidor é relativa, conforme discutido anteriormente. Os candidatos são o sistema de desenvolvimento da célula (SHEA, 2007), a

célula filha da geração seguinte ou o zigoto (BERGSTROM; ROSVALL, 2011a), ou a maquinaria enzimática que realiza a síntese proteica (GODFREY-SMITH, 2011). Entretanto, novamente, não há uma entidade que centralize a operação de ler a informação, porque não há informação ao nível molecular. A replicação, transcrição e tradução são apenas reações químicas que ocorrem ao nível celular (LEVY, 2011). Portanto, não existem emissor e receptor da informação genética.

O terceiro aspecto incompatível diz respeito à intencionalidade. Conforme destacado na citação de Santaella (2020), a emissão de uma mensagem é uma ação intencional de quem a envia. Se a origem da inovação fenotípica se dá por processos moleculares, conclui-se que não há intencionalidade em produzir-se informação genética, uma vez que moléculas são entidades desprovidas de antevisão e planejamento (LEVY, 2011).

Finalmente, o quarto aspecto incompatível é que a descrição informacional dos ácidos nucleicos concentra o controle do metabolismo celular nesta molécula, quando, na verdade trata-se de um conjunto de reações complexas e adaptativas que emergiram ao longo de milhares de anos. A concepção de DNA em termos informacionais ocasiona um desvio de nível hierárquico no conhecimento biológico. Esse desvio acontece porque passa-se a atribuir uma propriedade da célula para uma única molécula (DNA), como a síntese de proteínas, por exemplo. Deste aspecto incompatível, deriva também a concepção genecêntrica de que toda a informação necessária para a formação do fenótipo está contida no DNA, quando na verdade a construção do fenótipo é um processo de causação múltipla (STEGMANN, 2012).

Entretanto, diante de tais incompatibilidades, aceitar ou não os conceitos informacionais não se trata de uma decisão a ser tomada. Nossa compreensão acerca dos fenômenos moleculares da célula está estruturada em termos metafóricos. Este caso trata-se daquilo de Lakoff e Johnson (2008, p. 51) denominaram de *expressão literal estruturada de forma metafórica*.

Informação genética em um sentido literal não existe. É um modelo científico de representação da realidade que funciona quando aplicado para responder perguntas de pesquisa. Apresenta lacunas epistemológicas, entretanto, assim funciona a Ciência. Um modelo pode continuar sendo aceito na comunidade científico se for útil, mesmo se apresentar incompatibilidades ou inconsistências com a forma como o fenômeno se manifesta (FOUREZ, 1995). Utilizar termos informacionais para conceber os ácidos nucleicos apesar das inconsistências desse modelo é uma escolha científica (LEVY, 2011).

Portanto, não se trata de eliminar a metáfora, mas sim de expor as semelhanças e incompatibilidades entre os processos biológicos e processos da comunicação de forma que permita um uso didático-científico crítico da linguagem metafórica.

4.3 QUADRO COMPARATIVO

As discussões e inferências estabelecidas a partir dos resultados nas seções anteriores estão organizadas em um quadro de síntese (Quadro 6).

Quadro 6. Síntese dos resultados e discussões acerca dos quatro significados identificados para o termo informação genética nos artigos do periódico *Biology and Philosophy* de 2000 a 2020. Apresenta-se o nome da categoria, a definição, seus conceitos estruturantes, a pretensão de denotação ou conotação e indica-se os principais artigos que discute o significado apontado.

Categoria	Definição	Conceitos estruturantes	Denotação/Conotação	Principais artigos que discutem
Informação organizacional-molecular	Descrição do arranjo molecular no espaço e no tempo	Entropia, organização, restrição	Sentido denotativo quando apresenta descrições físicas; Sentido conotativo quando apresenta dimensão simbólica	Kauffman et al., (2008); Wilkins, Stanyon e Musgrave (2012); Rohwer e Barott (2013)
Informação genética propriamente dita	Propriedade estrutural e funcional dos ácidos nucleicos	Arbitrariedade química, código genético, controle do metabolismo, seleção natural (função), conteúdo instrucional, propriedades sequenciais, semântica	Conotativo metafórico	Kjosavik (2007); Shea (2007); Bergstrom e Rosvall (2011a); Stegmann (2012); Wilkins, Stanyon e Musgrave (2012); Haig (2014); Kojosavik (2014); Planer (2014); Kõiv (2020)
Informação ambiental	Sinais do ambiente interno e externo do indivíduo que interagem com os ácidos nucleicos direta ou indiretamente	Sinalização, processamento	Sentido denotativo quando apresenta descrições físicas; Sentido conotativo quando apresenta dimensão simbólica e de comunicação	Lean (2014); Planer (2014); Cofnas (2017)

Informação científica	Dados obtidos acerca dos fenômenos biológicos por meio da atividade científica	Informação histórica, mensurabilidade, aplicação técnica	Denotativo	Bergstrom e Rosvall (2011a); Lean (2014); Bromham (2016)
------------------------------	--	--	------------	--

Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Na comunidade de filósofos da Biologia identificamos ausência de consenso acerca do termo informação genética e são identificados pelo menos quatro usos distintos desse conceito. Neste sentido, o emprego da palavra “informação” em contextos genéticos na Biologia é polissêmico. Além da polissemia, existe a aplicação metafórica estruturada, com semelhanças e incompatibilidades entre a linguagem e os fenômenos biológicos; bem como usos instrumentalistas desses termos que contribuem para a prática científica.

A linguagem é imperfeita para a Ciência, pois ela permite o avanço da produção científica, mas pode distorcer alguns conceitos em seus usos cotidianos, didáticos e científicos. Mas, apesar das limitações, é inegável a contribuição da linguagem informacional para permitir a inteligibilidade dos fenômenos moleculares na Biologia, constituindo o melhor recurso de que a humanidade dispõe para estruturar a realidade e, por isso, ela deve ser usada com ressalvas.

Portanto, não se trata de validar ou invalidar um conceito em detrimento de outro, mas sim de reconhecer a polissemia e a metáfora, explicitando a pluralidade de explicações existentes e estabelecendo critérios para identificar cada um dos significados, de forma a garantir a eficiência da comunicação entre pesquisadores, bem como oferecer diretrizes para que o Ensino de Genética evite a promoção de distorções conceituais.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, Paulo C.; ALMEIDA, Fábio portela L. Evolução humana: a teoria da dupla herança. In: ABRANTES, Paulo C. et al. (Org.). **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 261-295.
- ALBERTS, Bruce; JOHNSON, Alexander; LEWIS, Julian; MORGAN, David; RAFF, Martin; ROBERTS, Keith; WALTER, Peter; WILSON, John; HUNT, Tim. **Biologia Molecular da Célula**. Tradução de Ardala Elisa Breda Andrade et al. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

- ANDRADE, Mariana A. Bologna Soares de; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. O modelo de DNA e a Biologia Molecular: interseção histórica para o Ensino de Biologia. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 139-165, 2009.
- ANDRADE, Mariana A. Bologna Soares de; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; CORRÊA, André Luis. O conceito de gene ao longo da história da genética. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D'Alma, 2020. P. 147-168. (Coleção Educação para a Ciência, 20).
- ANDRADE, Mariana Aparecida Bologna Soares de. **A Epistemologia da Biologia na formação de pesquisadores: compreensão sistêmica de fenômenos moleculares**. 2011. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2011.
- APTER, M. J.; WOLPERT, Lewis. Cybernetics and Development I. Information Theory. **J Theoret Biol**, v. 8, p. 244-257, 1965. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(65\)90075-5](https://doi.org/10.1016/0022-5193(65)90075-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022519365900755#!>. Acesso em: 03 jan. 21.
- AUSTIN, Christopher J. The dispositional genome: primus inter pares. **Biol Philos**, v. 30, p. 227-246, 2015.
- BACHELARD, Gaston. **A Epistemologia**. Traduzido por Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa: Edições 70, 2018. (Originalmente publicado em 1971)
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BERGSTROM, Carl T.; ROSVALL, Martin. Response to commentaries on "The Transmission Sense of Information". **Biol Philos**, v. 26, p. 195-200, 2011.
- _____. The transmission sense of information. **Biol Philos**, v. 26, p. 159-176, 2011.
- BLUTE, M. If the genome isn't a God-like ghost in the machine, then what is it? **Biol Philos**, v. 20, p. 401-407, 2005.
- BRANDO, Fernanda da Rocha. **Proposta Didática para o Ensino Médio de Biologia: as relações ecológicas no cerrado**. 2010. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2010.
- BRANGWYNNE, Clifford P.; KOENDERINK, Gijssje H.; MACKINTOSH, Frederick C.; WEITZ, David A. Cytoplasmic diffusion: molecular motors mix it up. **The Journal of Cell Biology**, v. 183, n. 4, p. 583-587. DOI: 10.1083/jcb.200806149. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2582900/pdf/jcb1830583.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf Acesso em 20 ago. 2020.

- BROMHAM, Lindell. What is a gene for? **Biol Philos**, v. 31, p. 103-123, 2016.
- CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Didática e Epistemologia da Biologia. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco de. (Orgs.). **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p. 73-86. (Coleção Educação para a Ciência, 10).
- _____. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D'Alma, 2020. (Coleção Educação para a Ciência, 20).
- CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; BASTOS, Fernando. A Didática como área de conhecimento. In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade; ARAUJO, Elaine S. Nicolini Nabuco de. (Orgs.). **Introdução à Didática da Biologia**. São Paulo: Escrituras Editora, 2009, p. 13-33. (Coleção Educação para a Ciência, 10).
- CESCHIM, Beatriz. **O emprego da teleologia na interpretação da Biologia funcional e evolutiva: um estudo a respeito de concepções e da evolução conceitual de alunos de licenciatura em Ciências Biológicas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2017.
- CESCHIM, Beatriz; GANIKO-DUTRA, Matheus; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Relação pensamento-linguagem e as distorções conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, 2020.
- CESCHIM, Beatriz; GANKO-DUTRA, Matheus. “Genético” e “Hereditário”: como a Biologia contemporânea explica essa relação? In: CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. **Didática e Epistemologia da Biologia**. São Paulo: Espelho D'Alma, 2020. (Coleção Educação para a Ciência, 20). p. 169-202.
- CHEDIAK, Karla. Função e explicações funcionais em biologia. In: ABRANTES, Paulo C. et al. **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 83-96.
- COFNAS, Nathan. Innateness as genetic adaptation: Lorenz redivivus (and revised). **Biol Philos**, v. 32, p. 559-580, 2017.
- COOPER, Robert A. Natural selection as an emergent process: instructional implications. **Journal of Biological Education**, v. 51, n. 3, p. 247-269, 2016.
- DAMÁSIO, António R. **O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. Tradução de Dora Vicente, Georgina Segurado. 3ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.
- EMMECHE, Claus. A Semiotical Reflection on Biology, Living Signs and Artificial Life. **Biol Philos**, v. 6, p. 325-340, 1991.
- EVANS, Vyvyan; GREEN, Melanie. **Cognitive linguistics: An introduction**. New York: Routledge, 2006.
- FILLMORE, Charles, J. Frame Semantics In: GEERAERTS, Dirk (edit) **Cognitive Linguistics: Basic Readings**, Mouton de Gruyter: Berlin, Germany, 2006, p. 373-400.

- FOUREZ, Gerárd. **A Construção das Ciências**: Introdução à Filosofia e à Ética das Ciências. Tradução de Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995.
- FOX, Thomas D. Natural variation in the genetic code. **Annual Review of Genetics**, v. 21, p. 67-91, 1987.
- FUTUYMA, Douglas. **Biologia Evolutiva**. 3ª ed. São Paulo: Editora FUNPEC, 2009.
- GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GODFREY-SMITH, Peter. Information in Biology. In: HULL, David L.; RUSE, Michael. **The Cambridge Guide to the Philosophy of Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, p. 103-119.
- _____. Is it a revolution? **Biol Philos**, v. 22, p. 429-437, 2007.
- _____. Senders, receivers and genetic information: comments on Bergstrom and Rosvall. **Biol Philos**, v. 26, p. 177-181, 2011.
- HAIG, David. Fighting the good cause: meaning, purpose, difference and choice. **Biol Philos**, v. 29, p. 675-697, 2014.
- _____. The strategic gene. **Biol Philos**, v. 27, p. 461-479, 2012.
- HEATHER, James M.; CHAIN, Benjamin. The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA. **Genomics**, v. 107, p. 1-8, 2016. DOI: 10.1016/j.ygeno.2015.11.003. Disponível em <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0888754315300410?token=2C268B3A65205AE4A157DEA25A051586850151FF48745AC33DAF6C1E694BDF35CE0F2DDE8FB916C01C790EF8EBC4E4F1>. Acesso em: 01 mar. 2021.
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchoa; CARNEIRO, José. **Biologia Celular e Molecular**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.
- KAUFFMAN, Stuart; LOGAN, Robert K.; ESTE, Robert; GOEBEL, Randy; HOBILL, David; SHMULEVICH, Ilya. Propagating organization: an enquiry. **Biol Philos**, v. 23, p. 27-45, 2008.
- KILVITS, Holly J.; ALVAREZ, Mariano; FOUST, Christy M.; SCHREY, Aron W.; ROBERTSON, Marta; RICHARDS, Christina L. Ecological Epigenetics. In: LANDRY, Christian R.; AUBIN-HORTH, Nadia. (eds.). **Ecological Genomics: Ecology and the Evolution of Genes and Genomes**. Advances in Experimental Medicine and Biology, 781. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2014, p. 191-210.
- KJOSAVIK, Frode. From symbolism to information? - Decoding the gene code. **Biol Philos**, v. 22, p. 333-349, 2007.
- _____. Genes, structuring powers and the flow of information in living systems. **Biol Philos**, v. 29, p. 379-394, 2014.

- KNIGHT, Rob. Reports of the death of the gene are greatly exaggerated. **Biol Philos**, v. 22, p. 293-306, 2007.
- KÕIV, Riin. Elusive vehicles of genetic representation. **Biol Philos**, v. 35, 24 p., 2020.
- KOONIN, Eugene V. The meaning of biological information. **Phil Trans R Soc A**, v. 374, n. 2063, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0065. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2015.0065>. Acesso em 13 mar. 2020.
- KREITMAN, Martin. The neutral theory is dead: long live the neutral theory. **Bioessays**, v. 18, n. 8, p. 678-683, 1996.
- LAKOFF, George; JOHNSON, Mark. **Metaphors we live by**. London: University of Chicago Press, 2008.
- LANDRY, Christian R.; AUBIN-HORTH, Nadia. Recent Advances in Ecological Genomics: From Phenotypic Plasticity to Convergent and Adaptive Evolution and Speciation. In: _____. (eds.). **Ecological Genomics: Ecology and the Evolution of Genes and Genomes**. Advances in Experimental Medicine and Biology, 781. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2014, p. 1-6.
- LEAN, Oliver M. Getting the most out of Shannon information. **Biol Philos**, v. 29, p. 395-413, 2014.
- LEVY, Arnon. Information in Biology: A Fictionlist Account. **NOÛS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.
- MACLAURIN, James. Commentary on "The transmission sense of information" by Carl T. Bergstrom and Martin Rosvall. **Biol Philos**, v. 26, p. 191-194, 2011.
- MARICATO, Fúlvia Eloá. **A (re)construção coletiva do conceito de interação biológica: contribuição para a Epistemologia da Biologia e a formação de pesquisadores e professores**. 2012. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.
- MARTÍNEZ, Nicolás Marín. Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las ciencias**, v. 21, n. 1, p. 65-78, 2003.
- MAYNARD-SMITH, John. The concept of Information in Biology. **Philos Sci**, v. 67, n. 2, p. 177-194, 2000.
- MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. **O conceito de organismo: uma introdução à Epistemologia do conhecimento biológica na formação e graduandos de Biologia**. 2009. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2009.
- MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida; EL-HANI, Charbel; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia. **Revista da Biologia**, v. 9, n. 2, p. 7-11, 2012.

- MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Editora Melhoramentos, 2021. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>. Acesso em: 04 jan. 2021.
- MOGILNER, Alex; MANHART, Angelika. Intracellular Fluid Mechanics: Coupling Cytoplasmic Flow with Active Cytoskeletal Gel. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 50, p. 347-370, 2018. DOI: 10.1146/annurev-fluid-010816-060238. Disponível em <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-fluid-010816-060238>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- MOSINI, Valeria. Proteins, the chaperone function and heredity. **Biol Philos**, v. 28, p. 53-74, 2013.
- MOUSTAKAS, Clark E. **Phenomenological Research Methods**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994. 192 p.
- PATTON, Michael Quinn. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3ª ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.
- PEARSON, Helen. Genetics: What is a gene? **Nature**, v. 441, p. 398-401.
- PEIRCE, Charles Sanders. **Philosophical Writings of Peirce**. Ed. J. Buchler. New York: Dover Publications, 1955.
- PLANER, Ronald J. Replacement of the "genetic program" program. **Biol Philos**, v. 29, p. 33-53, 2014.
- PRIDMORE, Brant. Review of genes in development: re-reading the molecular paradigm. **Biol Philos**, v. 23, p. 579-589, 2008.
- ROBINSON, Andrew; SOUTHGATE, Christopher. A general definition of interpretation and its application to origin of life research. **Biol Philos**, v. 25, p. 163-181, 2010.
- ROHWER, Forest; BAROTT, Katie. Viral Information. **Biol Philos**, v. 28, p. 283-297, 2013.
- SANTAELLA, Lúcia. (Org.). **Charles Sanders Peirce: Excertos**. São Paulo: Paulus, 2020. (Coleção clássicos para a comunicação).
- _____. **O que é Semiótica**. São Paulo: Brasiliense, 2007. (Coleção Primeiros Passo, v. 103).
- SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria da Educação. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias**. São Paulo: 2011.152 p.
- SARKAR, Sahotra. Information in Genetics and Developmental Biology: Comments on Maynard Smith. **Philos Sci**, v. 67, n. 2, p. 208-213, 2000.
- SEPÚLVEDA, Cláudia de Alencar Serra; MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. Adaptacionismo. In: ABRANTES, Paulo C. et al. (Org.). **Filosofia da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 162-192.
- SHANNON, Claude E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

- SHEA, Nicholas. Representation in the genome and in other inheritance systems. **Biol Philos**, v. 22, p. 313-331, 2007.
- _____. What's transmitted? Inherited information. **Biol Philos**, v. 26, p. 183-189, 2011.
- SHULMAN, Lee S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.
- SOARES, Bernardo Elias; NAVARRO, Marli Albuquerque; FERREIRA, Aldo Pacheco. Desenvolvimento sustentado e consciência ambiental: natureza, sociedade e racionalidade. **Ciências e Cognição**, v. 2, p. 42-49, 2004.
- SOBER, Elliott. Natural Selection and Distributive Explanation: A Reply to Neander. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 46, n. 3, p. 384-397, 1995.
- STEGMANN, Ulrich E. On the 'transmission sense of information'. **Biol Philos**, v. 28, p. 141-144, 2013.
- _____. The arbitrariness of the genetic code. **Biol Philos**, v. 19, n. , p. 205-222, 2004.
- _____. Varieties of parity. **Biol Philos**, v. 27, p. 903-918, 2012.
- TAKAHASHI, Christopher N.; NGUYEN, Bichlien H.; STRAUSS, Karin; CEZE, Luis. Demonstration of End-to-End Automation of DNA Data Storage. **Nature Scientific Reports**, v. 9, n. 4998, 5 p., 2019. DOI: /10.1038/s41598-019-41228-8. Disponível em <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41228-8>. Acesso em: 01 mar. 202.
- TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em Ecologia**. 3a ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- UNESP, Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru. **Plano de Ensino da Disciplina de Biologia Celular**, 2015.
- _____. **Plano de Ensino da Disciplina de Biologia Molecular**, 2019.
- WANDERSEE, James H.; FISHER, Kathleen M., MOODY, David E. The Nature of Biology Knowledge. In: _____. **Mapping Biology Knowledge**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 25-38.
- WILKINS, John, S.; SATNYON, Clem; MUSGRAVE, Ian. Selection without replicators: the origin of genes, and the replicator/interactor distinction in etiology. **Biol Philos**, v. 27, p. 215-239, 2012.
- WILLIAMS, George C. **Natural Selection: Domains, levels and Challenges**. New York: Oxford University Press, 1992.
- WONG, T. Y. William. Sources of evolutionary contingency: chance variation and genetic drift. **Biology and Philosophy**, v. 35, artigo n.º 36, 33 p., 2020. DOI: /10.1007/s10539-020-09752-4.

APÊNDICE A

MATERIAL DA ANÁLISE DE CONTEÚDO

Material utilizado para a análise de conteúdo. A primeira coluna (ano) indica o ano em que o artigo do qual os fragmentos de texto foram retirados; a segunda coluna (índice) indica o índice sob o qual a unidade de registro foi catalogada (BP = periódico *Biology and Philosophy*; U = unidade de registro), a numeração segue a ordem do artigo conforme foram baixados (em ordem numérica-alfabética crescente ano-autor), e a ordem em que as unidades de registro aparecem no artigo original; a terceira coluna (unidade de registro) consiste em uma citação do trecho de interesse do artigo; a quarta coluna (significado) consiste em uma exposição daquilo que a unidade de registro traz como significado (não consiste em uma tradução do Inglês para a Língua Portuguesa); a quinta coluna (código) apresenta o código sob o qual o índice foi codificado, de acordo com o significado identificado pelos autores desta pesquisa e de acordo com o sistema de classificação elaborado; e a última coluna (categoria de informação) apresenta o código do significado de informação que foi utilizado pelos autores do artigo no texto.

Ano	Índice	Unidade de registro	Significado	Categoria
2007	BP05U04	"The fact that a DNA sequence is 1D should not be used as an argument against the idea that it can specify phenotypic information in 3D."	Propõem que o arranjo linear sequencial dos nucleotídeos não seja limitante para explicar o arranjo espacial das proteínas	a) informação organizacional
2008	BP07U04	"[...] the constraints are the information, are partially causal in the diversity of what occurs in cells [...]"	Indica que restrições constituem a informação	a) informação organizacional
2008	BP07U05	"We emphasize this, because we wish to place a discussion of information, and its relation to work, constraint, and propagating organization in a wider context that the contemporary debate among philosophers of biology and biologists about the information status of the DNA → RNA → protein chain."	Explica que a informação situa-se num debate sobre organização mais amplo que uma manifestação fisiológica	a) informação organizacional
2008	BP07U06	"These consequences increase its fitness such that the information is assembled by natural selection into the ongoing evolution of the biosphere."	Apresenta a informação como um produto de seleção natural	a) informação organizacional
2008	BP07U07	"We thus assume a context with information understood as boundary conditions on the release of energy that makes diverse processes happen."	Apresenta informação como sinônimo de restrição	a) informação organizacional
2008	BP07U08	"[...] Shannon information does not describe the information content in the evolution of the biosphere."	Rejeita a aplicação da teoria de Shannon para explicar fenômenos biológicos	a) informação organizacional
2008	BP07U09	"But it has turned out that even if all orientations of all molecules in the zygote were utilized, there is not enough information capacity to store the information to yield the adult."	Rejeita a existência de um canal biológico de comunicação e reconhece a existência de causas não genéticas na determinação fenotípica	a) informação organizacional

2008	BP07U10	"This move was countered by noting that, if anything, development is rather more like an algorithm than an information channel."	Associa o desenvolvimento com algoritmo	a) informação organizacional
2008	BP07U11	"In short, a channel to transmit Shannon information along life cycles does not exist, so again, Shannon information does not seem to apply to the biosphere."	Rejeita a teoria da informação de Shannon devido à inexistência de um canal de transmissão da informação	a) informação organizacional
2008	BP07U12	"[...] but rather the persistent, ongoing, co-construction, via propagating organization , heritable variation, and natural selection, of the collective biosphere."	Associa o processo evolutivo com a propagação de organização ao longo das gerações	a) informação organizacional
2008	BP07U13	"But very different numbers of attempted mutations might have led to the same biosphere, hence quantitating the information of the biosphere by the number of attempted DNA mutations is not in direct correspondence to any specific biosphere."	Apresenta uma reflexão hipotética quantitativa sobre a informação	a) informação organizacional
2008	BP07U14	"He places his bet on aperiodic crystals which can, in strong contrast, say a lot, or carry much information, even a microcode which will somehow specify the adult."	Associa informação com a possibilidade da existência de código	a) informação organizacional
2008	BP07U15	"Therefore we starkly identify information, which we here call ‘‘instructional information’’ or ‘‘biotic information,’’ not with Shannon, but with constraints or boundary conditions ."	Apresenta informação como sinônimo de restrição	a) informação organizacional
2008	BP07U16	"We use the term ‘‘ instructional information ’’ because of the instructional function this information performs [...]"	Apresenta informação como um conteúdo instrucional e imperativo	a) informação organizacional
2008	BP07U17	"Importantly, this constitutes the copying or propagating of information."	Indica que a informação pode ser propagada	a) informação organizacional
2008	BP07U21	"Information is about material things and furthermore is instantiated in material things but is not material itself."	Relaciona informação com matéria	a) informação organizacional
2008	BP07U22	"This suggests that there is nothing intrinsic about information but rather it is merely a description of or a metaphor for the complex patterns of behavior of material things."	Sugere que informação é uma metáfora para descrever estados da matéria	a) informação organizacional
2008	BP07U23	"Biotic agents have purpose and hence meaning."	Associa intenção com conteúdo	a) informação organizacional
2008	BP07U34	"semiotic information becomes part of propagating organization ."	Indica que a informação semiótica está envolvida na propagação de organização	a) informação organizacional
2008	BP07U35	"Information is thus broader than coding ."	Afirma que informação é mais ampla que a noção de código	a) informação organizacional
2008	BP07U36	"Now consider a heritable variation which gives rise to a new constraint, physical biotic information, that helps cause a sequence of events in a molecular agent."	Afirma que a informação pode ser herdável	a) informação organizacional

2008	BP07U37	"The mechanisms of heritable variation and natural selection comprise an assembly process by which propagating organization is modified in normal Darwinian adaptations and preadaptations where new functionalities arise, and these modifications are built into the ongoing evolution of the biosphere."	Indica que a evolução trata da propagação de informação	a) informação organizacional
2012	BP17U01	"[...] others that information arises from the self-organising properties of complex networks before selection takes effect (Kauffman 1993, 1995, 2001)."	Apresenta um posicionamento de que a informação é produto da auto organização	a) informação organizacional
2012	BP17U02	"and that "information" in the context of the earliest Darwinian processes is the difference in the stability and interconnectedness of molecules involved in autocatalytic hypercycles and other reaction webs."	Define informação em termos de organização molecular em rede	a) informação organizacional
2012	BP17U03	"We consider that genetic information is just a matter of relative physical stability and persistence of a class of molecules, and their involvement in a larger number of reaction cycles ."	A informação é descrita em termos de estabilidade física e ciclos de reação	a) informação organizacional
2012	BP17U13	"A difficulty here is that undirected modifications to algorithms lead, in all probability, to degraded or dysfunctional algorithms, and it becomes very hard to conceive how more "information" or " order " can evolve from less "information" and less "order"."	Aponta um paradoxo entre informação como ordem e evolução darwiniana	a) informação organizacional
2013	BP19U01	" Physical information is about position in the Universe"	Apresenta o pilar de teoria da informação viral	a) informação organizacional
2013	BP19U04	" <i>This organizing of matter is time and space is physical information.</i> "	Define informação em termos de organização da matéria	a) informação organizacional
2013	BP19U05	"The thermodynamic consequence of physical information was first mathematically defined by Rolf Landauer, who calculated that the minimum energy (E) stored in one bit of information was equal to $kT\ln(2)$, where k = Boltzmann's constant and T = temperature in Kelvin (Landauer 1996)."	Descreve a informação física em termos de liberação de energia	a) informação organizacional
2013	BP19U07	"The organization of matter by biology leads to viral information because it converts physical information into itself at the cost of maximal efficiency from a thermodynamic point of view."	Relaciona informação física com a informação viral em termos termodinâmicos	a) informação organizacional
2014	BP21U44	"Replication is essential for the indefinite persistence of information in the face of dissipative entropic forces ."	Explica que a replicação conserva a informação contra a tendência natural da entropia	a) informação organizacional
2004	BP01U01	"Despite its vagueness, arbitrariness is thought to be useful in establishing how molecules like DNA might convey semantic genetic information."	Arbitrariedade é relevante para a discussão sobre informação semântica	b) informação genética

2004	BP01U02	" [...] it seems to be based on an analogy between chemical and linguistic arbitrariness ."	Contextualiza o debate na semelhança entre arbitrariedade química e linguística (simbólica)	b) informação genética
2004	BP01U03	"Chemical arbitrariness arguably establishes a language-like symbolic relation between codons and amino acids."	Aponta para a existência de uma relação simbólica entre códons e aminoácidos	b) informação genética
2004	BP01U05	"It is then thought legitimate to attribute meaning and semantic information to genes or its components"	Apresenta uma possibilidade de legitimar a atribuição de significado aos genes	b) informação genética
2004	BP01U06	"[...] inasmuch the transfer of information could just as well take place according to some other convention ."	Indica que a transferência de informação depende de convenções	b) informação genética
2004	BP01U07	"[...] it is controversial whether there are any such molecules."	Abstém-se de posicionamento sobre a existência da dimensão informacional do DNA	b) informação genética
2004	BP01U08	"[...] the information is passed on to other cells and to the next generation through the process of replication [...]"	Traz o sentido evolutivo do fluxo de informação para discussão	b) informação genética
2004	BP01U09	"[...] it (information) is transferred to RNA and proteins through the processes of transcription and translation ."	Traz o sentido fisiológico do fluxo de informação para discussão	b) informação genética
2004	BP01U10	"If we accept that semantic information is transferred during replication and transcription, we find that the nucleotide base symbols do not need to be chemically arbitrarily related to transfer this information."	Estabelece condições para a relação entre arbitrariedade e informação	b) informação genética
2004	BP01U11	"These considerations show that the chemical arbitrariness of the genetic code is neither necessary nor sufficient for nucleic acids to possess meaning."	Afirma que não há relação necessária entre arbitrariedade e informação semântica	b) informação genética
2005	BP02U01	"Most biologists view DNA as containing encoded information."	Apresenta o debate informacional a partir da noção de código	b) informação genética
2005	BP02U02	"Rather than an unnecessary metaphor, it strikes one a straight-forward factual statement about the role of DNA in the life of the cell [...]"	Indica que para alguns filósofos, "informação" é utilizada no sentido denotativo	b) informação genética
2005	BP02U03	"At the same time however, the 'information' view seems incomplete, too static, too passive , too much like Ryle's (1949) knowledge 'that' rather than knowledge 'how'."	Rejeita a concepção semântica da informação	b) informação genética
2005	BP02U04	"Rather they, like other organelles, are molecular machines which play a dynamic role in the life of the cell."	Aponta para a noção de processamento no genoma	b) informação genética
2005	BP02U06	"They are, as a first approximation, like brains, ' mind machines '."	Apresenta analogias entre o genoma e um sistema de processamento de informação	b) informação genética

2005	BP02U07	"Information is stored digitally in both cases."	Afirma que informação pode ser armazenada no genoma	b) informação genética
2005	BP02U08	"In genomes, many transcription factors can influence the expression of a single gene and the transcription products of a single gene can act as a transcription factor influencing the expression of many other genes – phenomena sometimes called signal integration and combinatorial control"	Discute a dimensão regulatória de genes integrada em rede de interações	b) informação genética
2005	BP02U09	"Most fundamentally both neurons and genes with their associated ‘packaging’ (e.g. glial cells, various proteins including histones) perceive, calculate/think (as you will), and act ."	Afirma que genes efetuam processamento	b) informação genética
2005	BP02U10	"Both genomes and brains carry a ‘ burden ’ of history as Williams (1997) put it."	Indica que o genoma pode conter registros históricos	b) informação genética
2007	BP03U01	"As Crick put it in the 1970 paper, the Central Dogma “deals with the detailed residue-by-residue transfer of sequential information ” between individual polymer molecules."	Indica que as propriedades sequenciais do DNA possibilitam a transferência de informação	b) informação genética
2007	BP03U03	"[...] when the features of central biological importance are determined in molecules, the arrow of causation goes from nucleic acid to protein and not vice versa."	Destaca uma única direção possível do fluxo de informação	b) informação genética
2007	BP03U04	"Crick, as noted above, understood the Central Dogma as a claim about exact polymer sequence ."	Ressalta a intenção de Crick residir na ênfase das propriedades sequenciais	b) informação genética
2007	BP03U05	"Nucleic acid is taken to be a controller of biological processes in a broader sense ."	Centraliza o controle dos processos biológicos na molécula de DNA	b) informação genética
2007	BP03U07	"It may be objected at this point that what has always seemed important about DNA is the combination of many states [...]"	Indica que a importância do DNA deve-se às suas propriedades combinatoriais	b) informação genética
2007	BP03U08	"[...] <i>and</i> a means by which they could be reproduced ."	Indica que a importância do DNA deve-se à sua capacidade de reproduzir-se	b) informação genética
2007	BP03U09	"This encouraged the development of an informational mode of description, and the appeal of that description in turn fostered an even stronger emphasis on sequence ."	Reitera que a essência dos conceitos informacionais reside nas propriedades sequenciais	b) informação genética
2007	BP03U10	"J&L, however, are happy to use and proliferate informational descriptions of biological systems."	Indica que as autoras não veem problema no uso dos conceitos informacionais	b) informação genética
2007	BP03U11	"Helping myself to one last metaphor, I wonder whether this very broad enthusiasm for informational concepts is something of a Trojan horse for people with J&L’s general aims."	Questiona a utilidade dos conceitos informacionais em biologia	b) informação genética

2007	BP04U01	"Crucial questions are rather whether genes differ from other causal factors with regard to how they carry information [...]"	Afirma ser necessário investigar como a informação é carregada pelos genes	b) informação genética
2007	BP04U02	"The abundance of metaphors from linguistics and informatics suggests an affirmative answer to both these questions"	Sugere que os conceitos informacionais tratam-se de uma metáfora	b) informação genética
2007	BP04U03	"[...] in that genes apparently make up a symbolic information system – a genetic ‘code’ – which resembles a Morse code – and thereby also carry a peculiar kind of information – namely, one that is semantic, as opposed to purely causal."	Relaciona a existência de um código genético como caráter semântico da informação	b) informação genética
2007	BP04U05	"I shall argue that there is indeed a genetic code, but only for proteins , and not at the higher level of phenotypes"	Limita o alcance da determinação genética ao nível molecular	b) informação genética
2007	BP04U06	"If the code makes up a symbolic system of information, genes would be privileged in terms of combinatorial potential , and thus in a weak way."	Hipotetiza sobre genes possuírem propriedades combinatoriais	b) informação genética
2007	BP04U07	"If the code in addition has semantic content , like the Morse code, that would set genes apart from other non-coding causal factors in the same strong way as words or sentences that have semantic content in linguistic communication."	Hipotetiza sobre genes possuírem conteúdos semânticos	b) informação genética
2007	BP04U08	"By way of an analogy with the Morse code, I shall propose a strong criterion of semantic content, namely, arbitrariness and aboutness construed so as to resemble properties of a man-made code-script."	Coloca a arbitrariedade como um critério para a existência de conteúdo semântico	b) informação genética
2007	BP04U09	"On the basis of this strong semantic criterion, I shall argue that the genetic information system does not have semantic content , unlike a linguistic code."	Rejeita a existência de conteúdo semântico para a informação genética	b) informação genética
2007	BP04U10	"If, on the other hand, the criterion is weakened to mere aboutness, which is backed by a ‘teleosemantic’ theory of information, it would not apply to gene types, and gene tokens would only fulfil it on a par with everything else for which there has been natural selection ."	Invalida a existência de informação em um nível puramente fisiológico ao usar como critério a seleção natural	b) informação genética
2007	BP04U11	"Hence, genes can at most be distinguished from non-coding causes in the weak way, namely, with regard to how they carry their information – not because of the kind of information they carry."	Conclui que o que distingue os genes de outras causas é a forma como eles carregam informação	b) informação genética
2007	BP04U12	"This is of course what is to be expected if genes are just causal factors on a par with other causal factors, since causes and effects in general branch out into trees – there is not just a single mono-linear chain of events."	Insere os genes dentro de um contexto de causação múltipla	b) informação genética
2007	BP04U13	"Indeed, it has been argued that the Pax-6 gene contains the instruction ‘make an eye here!’ , a bit similar to the way genes in general might be taken to contain the instruction ‘make a protein!’ "	Apresenta o argumento do conteúdo dos genes ser instruções	b) informação genética

2007	BP04U15	"It is combinatorial discreteness as opposed to superimposed or meta-discreteness and combinatorial correspondence as opposed to cluster correspondence that is the key to understanding the genetic code as a genuine code, then, and therefore as possibly carrying information in a different sense from that in which causes in general can be said to carry information about their effects."	Rejeita a concepção de informação causal usando como critério as propriedades combinatoriais do código genético	b) informação genética
2007	BP04U16	"The enzymes in question are thus the closest we get to particular biological assignment rules, and their recognition-specificity is arbitrary in a similar way to that in which the assignments of a man-made code are arbitrary."	Estabelece a arbitrariedade como uma determinação biológica do código genético	b) informação genética
2007	BP04U17	"Genes can therefore not be said to encode functions in the same strict sense as they encode proteins."	Afirma que as funções das proteínas não são determinadas pelos genes	b) informação genética
2007	BP04U18	"Indeed, <i>semantic information may be said to be 'transmitted' or 'transferred' from a token for a gene type x to a token for a protein type y by way of a genetic code if and only if the following conditions are fulfilled:</i> "	Conjectura a respeito da informação semântica poder ser transferida	b) informação genética
2007	BP04U19	"(3) there is causal covariation between the token for x and the token for y".	Coloca como princípio da informação semântica as propriedades de covariação	b) informação genética
2007	BP04U20	"It follows that a continuous congruence between two structures, like that between a map and a landscape, can never be symbolic, despite the fact that there are conventions involved with regard to how the map represents the landscape."	Coloca a convenção como critério para a existência de relações simbólicas	b) informação genética
2007	BP04U21	"We thus have to look into the relations between genes and protein functions to determine whether there is semantic information content that can be misinterpreted through development or even misrepresent its own developmental outcome."	Considera que se há informação semântica nas proteínas, elas podem ser mal interpretadas	b) informação genética
2007	BP04U22	"Thus, Maynard Smith argues that in biology "the coder is natural selection . (...) It is natural selection which, in the past, produced the sequence of bases, out of many possible sequences, which, via the information channel just described, specifies a protein that has a 'meaning', in the sense of functioning in a way that favors the survival of the organism" (Maynard Smith 2000a, p. 179)."	Considera que a informação é uma propriedade determinada pela seleção natural	b) informação genética
2007	BP04U23	"In short, while gene and protein tokens may fulfil both the arbitrariness and the aboutness conditions of a strong criterion of semantic content, gene and protein types will fulfil only the former."	Restringe a dimensão intencional (dada por seleção natural) da informação apenas em um nível evolutivo	b) informação genética
2007	BP04U24	"It follows that <i>there can be no ascription of semantic content to a gene or protein type that can be shared indiscriminately by its tokens.</i> "	Considera que ao nível fisiológico não é possível haver conteúdo semântico se a seleção natural é um critério para tal	b) informação genética

2007	BP04U25	"As the criterion cannot be applied at type-level but only to a proper subset of gene and protein tokens, it cannot justify the claim that the genetic code is similar to the Morse code in a semantically relevant manner, i.e., in terms of the kind of information that is carried by genes and proteins."	Invalida a existência de informação semântica como aquela presente entre o código Morse a Língua Inglesa	b) informação genética
2007	BP04U26	"What is peculiar to genes and proteins is rather how they carry their causal information, namely, in terms of not only correlational but also emergent arbitrariness – with the scope of functional variation that is thereby enabled by alterations in gene- and protein code-script."	Afirma que a peculiaridade dos genes está na forma como eles carregam a informação causal	b) informação genética
2007	BP04U28	"But this transparency is deceptive if it leads to semantic content ascriptions. The mindless natural processes are blind to it – it is an epistemic notion rather than an ontological one – and it can play no part in the causal processes of nature."	Indica que na ausência de uma mente, não há semântica nos genes	b) informação genética
2007	BP05U02	"Moss argues that this informational language is misguided ."	Apresenta o posicionamento de outro autor que concorda que informação é uma linguagem equivocada	b) informação genética
2007	BP05U03	" Many factors besides DNA can be stably inherited, including the classic examples of membrane configuration, methylation patterns and histone modifications that affect transcriptional regulation (Jablonka 1995)."	Argumenta que a teoria da informação genética pode ser mais abrangente para além do DNA no que diz respeito à herança.	b) informação genética
2007	BP05U05	"Two strong lines of evidence that suggest that DNA encodes information about fitness come from experiments that evolve either computer programs or nucleic acid sequences from random starting points."	Argumenta que "informação genética" trata sobre um produto de seleção natural	b) informação genética
2007	BP05U06	"[...] that, in the context of a system for interpreting them, produce interesting dynamical behaviors."	Afirma que o genoma é um conteúdo a ser interpretado	b) informação genética
2007	BP05U07	"Shannon's theorem (Shannon 1949) provides a direct conversion between probabilities and bits of information."	Indica que a informação genética pode ser mensurada quantitativamente em <i>bits</i>	b) informação genética
2007	BP05U08	"The basic principle underlying SELEX is that the ability to perform a particular reaction requires stringent constraints on the sequence, which can be represented as information."	Afirma que a reatividade da molécula depende de restrições de sua sequência	b) informação genética
2007	BP05U11	"The behavior of any program depends sensitively on the actions of a large number of other components of the system, as anyone who has tried to run old software on a new operating system can attest."	Explica que a informação genética depende de um contexto para ter funcionamento	b) informação genética
2007	BP05U13	"Thus, either the widely accepted view that the genome stores information about the phenotype is correct, or we have to give up the idea that actual computer programs are made of information."	Compara informação genética com programas de computadores	b) informação genética
2007	BP06U01	"Its stable double helix is thought to carry the information needed to sustain such adaptive complexity over the aeons. But what is this 'information' that DNA is said to carry?"	Indaga de que se trata a informação que o DNA carrega	b) informação genética

2007	BP06U02	"It's certainly unlike the information we read in the newspapers. In everyday currency, items of information are produced and interpreted with conscious understanding . According to one view, talk of genetic information is entirely different ."	Afirma que o fenômeno da informação genética manifesta-se na ausência de uma consciência	b) informação genética
2007	BP06U03	"It is just convenient shorthand for the special kind of causal process by which proteins are made from DNA."	Explica que se trata de um atalho linguístico	b) informação genética
2007	BP06U04	"The rule of causal specificity between the linear order of bases on a strand of DNA and the primary structure of proteins produced from it can be called a code irrespective of whether it carries a message or instruction (Godfrey-Smith 2000b, 2002; Wheeler 2003, in press; Sarkar 2004; Stegmann 2005)."	Valida a denominação de código para a relação entre as bases do DNA e os aminoácidos das proteínas	b) informação genética
2007	BP06U05	"Talk of coding is surely one reason why genes are called information carriers, and from it flows talk of transcription, translation, proofreading, etc. But this is not information in any semantic sense."	Rejeita a relação de código como suficiente para a atribuição de propriedades semânticas	b) informação genética
2007	BP06U06	"Nor is it plausible that, in this sense, genes code for phenotypes, since the code only extends as far as the sequence of amino acids in the gene's first protein product."	Limita o alcance do DNA ao produto proteico	b) informação genética
2007	BP06U07	"Wherever there are teleofunctions there is the possibility of error ."	Relaciona teleofunção com erro	b) informação genética
2007	BP06U11	"I reserve 'representational' for semantic properties like correctness and satisfaction conditions ."	Atribui condições de correção e satisfação para informação semântica	b) informação genética
2007	BP06U12	"Representational contents are relational properties suited to particular kinds of explanation ."	Relaciona a existência de conteúdos representacionais com contextos específicos	b) informação genética
2007	BP06U13	"But genetic determinism is false "	Rejeita o genocentrismo ao nível ontogenético	b) informação genética
2007	BP06U14	"[...] and it seems unlikely that genes make a special causal contribution to the processes of individual development (Griffiths 2005)."	Rejeita o genocentrismo ao nível ontogenético	b) informação genética
2007	BP06U15	"Where genes do play a special role "	Adota o genocentrismo ao nível filogenético	b) informação genética
2007	BP06U16	"Each base-position can, independently, be filled by one of four types (A, C, G and T), giving rise to a combinatorial explosion of distinct possibilities."	Apresenta as propriedades combinatoriais do DNA por meio das bases nitrogenadas	b) informação genética
2007	BP06U21	"There is a communication channel for the huge amount of order locked into the genome."	Indica que a informação está armazenada em um canal de comunicação	b) informação genética
2007	BP06U24	"However, when it comes to the other, phylogenetic , kind of explanation of DAC, the semantic content of the genome plays an important explanatory role."	Situa a manifestação semântica da informação no plano filogenético	b) informação genética

2007	BP06U25	"The coding relation is a relation of causal specificity between base sequences and amino acid sequences."	Situa a manifestação do código genético ao nível fisiológico	b) informação genética
2007	BP06U27	"By contrast, selectional properties are teleofunctions of the gene."	Situa a propriedade seletiva do gene ao nível evolutivo	b) informação genética
2007	BP06U28	"Representational contents arise when the producer subsystem manages things so that the intermediates correlate with those specific success conditions , the intermediates thereby being representations."	Associa conteúdos representacionais com sucesso reprodutivo	b) informação genética
2007	BP06U29	"It has the following content: the environment is cold (conducive to thick hair), grow thick hair."	Indica que o conteúdo do genoma é imperativo	b) informação genética
2007	BP06U30	"Recall that infotel semantics requires each intermediate representation to have its own success condition, specific to it in the context of a range of other intermediates."	Coloca contextos específicos como condição de sucesso	b) informação genética
2007	BP06U31	"But now consider the species' gene pool after there has been selection for gene-H."	Indica que a informação representacional emerge ao nível populacional	b) informação genética
2007	BP06U33	"The organism developed that complex phenotype because the zygote contained a large number of genes instructing the developmental system to produce a large number of traits."	Coloca a complexidade fenotípica como um produto das instruções fornecidas pelos genes	b) informação genética
2007	BP06U34	"I see no reason why arbitrariness should be criterial for representation, especially in simple representing systems."	Desvincula arbitrariedade como um critério para a existência de representação	b) informação genética
2008	BP07U02	"As part of the propagating organization within living cells, the cell operates as an information processing unit , receiving information from its environment, propagating that information through complex molecular networks, and using the information stored in its DNA and cell-molecular systems to mount the appropriate response."	Apresenta a célula como um sistema de processamento de informação do DNA	b) informação genética
2008	BP07U03	"This closure of work, constraints, tasks, and information, as we shall see below, is a new state of matter, energy, information, and organization that constitutes the living state."	Apresenta a informação como um elemento constitutivo dos organismos	b) informação genética
2008	BP07U24	"The DNA is not a sign for something else it is the actual thing in itself , which regulates other genes, generates messenger RNA, which in turn control the production of proteins."	Recusa que o DNA seja informação e descreve a fisiologia do DNA em termos de regulação e controle de reações	b) informação genética
2008	BP08U01	"Thomas Bürglin's essay on the genetics of the nematode <i>Caenorhabditis elegans</i> takes a fairly hard ' genetic program ' line, in counterpoint to most of the other contributors."	Apresenta uma concepção de genes como um programa	b) informação genética
2008	BP08U02	"He makes no bones about his view that ' the information required to make a complete organism is contained within the genes of the genome'"	Indica que o genoma contém informação e tem papel especial na causação fenotípica	b) informação genética
2008	BP08U04	"[...] each reaction ... is a direct consequence of the protein sequence which in turn is derived from the gene sequence ."	Justifica o genecentrismo a partir das propriedades sequenciais	b) informação genética

2008	BP08U05	"Without subscribing to the 'one true program' doctrine, such an approach can privilege the molecular gene above all other developmental resources on the grounds that it harbors and conveys meaning in a way that other resources do not, that is, on the grounds that molecular genes, alone among developmental resources, carry semantic information or constitute a semantic code."	Justifica o genecentrismo a partir das propriedades semânticas	b) informação genética
2008	BP08U07	"It is common ground on all sides of these debates that particular codons in a cell's DNA sometimes act as templates for the synthesis of particular amino-acids."	Apresenta a relação de código entre códons e aminoácidos	b) informação genética
2008	BP08U08	"[...] but all of this complexity not of itself bear on whether DNA should be privileged among developmental resources (as I think it should)."	Posiciona-se a favor do genecentrismo	b) informação genética
2008	BP08U09	"While there is no lack of room for debate about how much philosophical import these differences have, they certainly make the relationship between codons and amino-acids look a great deal like a linguistic code."	Relaciona o código genético com códigos linguísticos	b) informação genética
2008	BP08U10	"If linguistic descriptions of amino-acid synthesis are no more than metaphor they are at the least a screamingly obvious metaphor that would surely have presented itself to the biochemists who discovered the correspondences between base triplets and amino-acids, no matter what was going on in the wider world."	Explica a natureza epistemológica da metáfora linguística aplicada ao código	b) informação genética
2008	BP08U11	"Indeed, almost every biological process—whether on the scale of organ, cell or organelle, and whatever its function—is seen as possessing a Peircian tryadic structure of sign, object and interpretant, and therefore as entering into the world of signification ."	Aplica a noção de signo aos fenômenos biológicos	b) informação genética
2008	BP08U12	"According to him, digital codes: allow for impossible messages 'because there is no strict binding between the code itself and the message it carries'"	Relaciona código com arbitrariedade	b) informação genética
2008	BP08U13	"[...] are 'objective in the sense that they depend on a shared convention '"	Relaciona código com convenção	b) informação genética
2008	BP08U14	"By contrast, intentional or semantic information is context insensitive "	Afirma que o significado não depende de contexto	b) informação genética
2008	BP08U15	"First, there is no reason to believe that it is desirable that all genetic instructions be obeyed."	Concebe o genoma como um conjunto de instruções	b) informação genética
2008	BP08U16	"Any organism will contain many systems that generate tokens with imperative content, all of which have had enough evolutionary success to acquire semantic functions but some of which will conflict in the content of the tokens they generate."	Relaciona conteúdo com sucesso reprodutivo	b) informação genética
2008	BP08U18	" No serious geneticist believes that DNA is the only important developmental resource , even if some believe it is the most important, and even much of the popular media recognises that molecular genes influence, rather than solely determine, the development of phenotypic traits."	Aceita multiplicidade na causação fenotípica	b) informação genética

2010	BP09U02	"One might also say, though we prefer to avoid doing so, that X contains 'information' about O. "	Informação é apresentada a partir de uma relação simbólica	b) informação genética
2010	BP09U03	"One reason why we shall avoid the term 'information' is the potential for confusion with the mathematical concept of information (Shannon 1964[1949]) which has no semantic dimension (see, for example, Harms 1998, 497)."	Esclarece que a teoria de Shannon não aceita uma dimensão semântica	b) informação genética
2010	BP09U04	"Insisting on the importance of coding tends to mean invoking a complex nucleic acid/protein interaction at an early stage; rejection of coding has often meant the rejection of all early roles for nucleic acid."	Suscita a noção de código presente no DNA	b) informação genética
2011	BP10U01	"[...] information is encoded in the DNA [...]"	Indica o senso comum com que informação é tratada na genética	b) informação genética
2011	BP10U36	"The former are transmitted across generations, the latter are not. "	Justifica o genocentrismo em uma escala vertical de transmissão de informação	b) informação genética
2011	BP10U41	"For biologists, therefore, the source-channel distinction is imposed not by the observer but rather by the process of natural selection from which life arose and diversified."	Rejeita a proposta de que a escolha do canal de comunicação como interesse de estudo seja imposta pelo observador e defende que está dada pela seleção natural	b) informação genética
2011	BP10U51	"In the case of the genetic code, this means that the association between a codon and its corresponding amino acid is not driven by the immediate steric interactions between the codon and the amino acid, but instead is mediated by an extensive tRNA structure that in principle could have coupled this codon to any other amino acid instead."	Apresenta a definição de arbitrariedade	b) informação genética
2011	BP10U53	"But a well-chosen code is not arbitrary at all; it solves a decision problem for packaging. "	Indica que a arbitrariedade é apenas aparente, uma vez que o código resolve um problema de empacotamento	b) informação genética
2011	BP10U54	"[...] natural selection has done the same in evolving a one-in-a-million genetic code."	Define o código genético como um produto de seleção natural	b) informação genética
2011	BP10U55	"[...] only the former allows an arbitrary combinatorial mapping between templates and products."	Indica que uma das funções do código é permitir diferentes combinações	b) informação genética
2011	BP11U01	"We are not saying that it is as if genes carry information; we are saying that genes do carry information , and that their role as information carriers is clear from their structure and function."	Afirma que a partir da função e estrutura do DNA é possível afirmar de forma denotativa que essa molécula contém informação	b) informação genética
2011	BP11U09	"Indeed, DNA served to transmit information from unicellular generation to unicellular generation for more than a billion years prior to the evolution of multicellular differentiation."	Descreve a transmissão de informação ao longo de gerações	b) informação genética

2011	BP12U01	"It is tempting to say that genes contain messages or instructions of some kind."	Remete à concepção de genes como instruções	b) informação genética
2011	BP12U02	"But the boundary between literal and metaphorical description is hard to work out in cases like this."	Alude à dificuldade em esclarecer se informação genética trata-se ou não de uma metáfora	b) informação genética
2011	BP12U17	"Development is a process in which a lot of low-level reading, and a lot of low-level quasi-logical cascades of gene regulation , occur [...]"	Alude aos processos regulatórios no qual os genes estão envolvidos no desenvolvimento	b) informação genética
2011	BP12U18	"[...] and as a result of that (among other things) an organism with fingers and kidneys comes to exist."	Explica a produção fenotípica a partir de uma causação múltipla	b) informação genética
2011	BP12U19	"B&R hold that it is an objective fact that DNA has been designed by evolution to transmit information."	Interpreta que para B&R a função do DNA é transmitir informação	b) informação genética
2011	BP12U20	"In other new work, sophisticated versions of the idea that the information-theoretic description of genes is a useful fiction have been developed (Levy forthcoming)."	Remete a outras concepções que abordam o DNA como desprovido de propriedades informacionais	b) informação genética
2011	BP13U02	" Genes are not invested with meaning in the way that words and symbols are invested with meaning."	Argumenta contra a presença de significado nos genes	b) informação genética
2011	BP13U05	"Clearly the genome plays a special informational role in evolution and development."	Enuncia um jargão presente nas discussões sobre informação em biologia	b) informação genética
2011	BP13U06	"So, understood semantically, the genome does not play enough of an informational role in evolution and development."	Considera a informação semântica limitada para explicar a produção de fenótipos	b) informação genética
2011	BP14U12	"So there is a functional message about 'how to make a living'."	Indica o conteúdo da mensagem	b) informação genética
2011	BP14U14	"Indeed, arbitrariness itself is a puzzling concept, since in any multi-stage causal process, an intermediate could be replaced by an alternative, provided the there are compensating changes in the way it is produced and acted upon."	Compatibiliza arbitrariedade e aperfeiçoamento	b) informação genética
2011	BP14U15	"It is from the point of view of the problem of keeping that mapping stable over evolutionary time that we see that different mappings have different costs, because of the distribution of errors introduced as the message is transmitted down the generations."	Estabelece uma narrativa do evento de seleção de códigos genéticos	b) informação genética
2011	BP14U18	"I argue that even there, in the absence of a clear distinction between zygote and organism, there really are consumers of the message carried by DNA."	Argumenta que existe um consumidor da informação carregada pelo DNA	b) informação genética
2011	BP14U19	"So the DNA is the message and the rest of the organism is the consumer."	Identifica a mensagem e seu consumidor	b) informação genética

2012	BP15U01	"By this means, gene sequences come to embody and represent 'information' about what works in the environment (Shea 2007; Frank 2009)."	Argumenta que a representação presente no DNA é um produto de seleção natural	b) informação genética
2012	BP15U02	"The vertical axis represents transmission of genetic information from progenitors to progeny [...]"	Situa a transmissão de informação como um fenômeno que acontece entre gerações	b) informação genética
2012	BP15U03	"All information in genes was put there by the environment via selection among alternative genetic effects."	Indica que o ambiente coloca as informações nos genes pode meio da seleção natural	b) informação genética
2012	BP16U01	"In addition, DST theorists are sceptical (sic) about, and often dismissive of , the idea that genes carry information for development (Griffiths and Gray 1994; Griffiths and Knight 1998; Oyama 2000)."	Apresenta o ceticismo da corrente da teoria dos sistemas de desenvolvimento em relação à informação genética	b) informação genética
2012	BP16U02	"A rough characterisation of parity is straightforward: genes are just one kind of developmental factor among many , so there is nothing special about them."	Indica que a teoria dos sistemas de desenvolvimento (TSD) concordam com a tese da paridade	b) informação genética
2012	BP16U03	"Others recommend recasting parity as a claim about representational content , requiring a project of naturalising semantic content familiar from the philosophy of mind (Shea 2011)."	Aponta que a teoria da paridade clama pela existência de um conteúdo representacional	b) informação genética
2012	BP16U04	"Since only DNA templates are the ADMs of the new RNA sequences, the templates are not on a par with enzymes."	Atribui ao DNA o papel de "real causador de diferença"	b) informação genética
2012	BP16U05	"Since templates were regarded as solely responsible for, or determining, amino acid sequences , their conclusion amounts to singling out DNA as 'the' cause of the amino acid sequence, even though there was no actual difference in the cause and effect variables."	As propriedades sequenciais garantem ao DNA a capacidade de servir como "molde" dos aminoácidos	b) informação genética
2012	BP16U06	"[...] one of the 'metaphysical' distinctions is the contrast between information carriers and material support [...]"	Alude à existência de uma dicotomia entre carregadores de informação e um material de suporte	b) informação genética
2012	BP16U07	"For example, if both genes and non-genes carried developmental information (in some sense), then they would be on a par informationally, though not with respect to the other two features."	Concebe informação como instruções do desenvolvimento	b) informação genética
2012	BP16U08	"Since even master control genes are regulated by further factors, they are better viewed as nodes in a causal network (e.g. Robert 2004; Weber 2005a)."	Indica que controle está relacionado com uma rede de causação	b) informação genética
2012	BP16U09	"One aspect of the no dichotomies-view is that genes are not the only carriers of information."	Afirma que os genes não são os únicos carregadores de informação	b) informação genética
2012	BP16U10	"Informational parity is often defended on the basis of analyses of correlational "	Relaciona informação correlacional com a teoria da paridade	b) informação genética

2012	BP16U11	"Informational parity is often defended on the basis of analyses of [...] teleosemantic accounts of information. "	Relaciona informação teleosemântica com a teoria da paridade	b) informação genética
2012	BP16U12	"It is more plausible to derive arguments in favour of parity about natural information from considering Shannon's quantity 'mutual information' (Bergstrom and Rosvall 2011)"	Relaciona informação transmissiva com a teoria da paridade	b) informação genética
2012	BP16U13	"If arbitrariness between cause and phenotype is an ingredient of such an account (as in Maynard Smith 2000; Sterelny 2000), then microsymbionts are excluded (Sterelny 2000)."	Usa a arbitrariedade como critério de exclusão de componentes carregadores de informação	b) informação genética
2012	BP16U14	"In addition to restrictions arising from the specifics of the various accounts, all varieties of teleosemantics give rise to an obvious but rarely noticed restriction: since they require information carriers to have evolved in order to produce phenotypic effects, teleosemantic theories exclude nearly all environmental factors of development."	Argumenta que se a seleção é um critério para a teleofunção de ser informacional, o ambiente não pode carregá-la	b) informação genética
2012	BP16U15	"Godfrey-Smith (2000a) has emphasised three specific similarities between the mechanism of protein synthesis and human symbol systems and argued that they motivate talk of coding and information."	Menciona um autor que encontrou similaridades entre a síntese de proteínas e sistemas humanos de códigos	b) informação genética
2012	BP16U17	"Sarkar argues that semiotic information happens to be unique to DNA."	Cita um autor que defende a informação semiótica	b) informação genética
2012	BP16U19	"The 'important roles' may well be those featuring in the no dichotomies-view (e.g. carrying information)."	A propriedade de carregar informação atribui ao DNA um papel especial	b) informação genética
2012	BP17U08	"Genes are "information" " about " properties of organisms and their development."	Aponta propriedades semânticas dos genes	b) informação genética
2012	BP17U09	"The replication of genes is " transmission " of a "message"."	Define replicação em termos de transmissão da mensagem	b) informação genética
2012	BP17U10	"Once this semantic metaphor is taken literally, though, questions of informational content come into play (Yockey 1992; Smith 2000) [...]"	Indica que ao tornar literal a metáfora semântica, surgem discussões sobre o conteúdo	b) informação genética
0	BP17U12	"[...] along with notions like Kolmogorov-Chaitin algorithmic complexity measures—genes become Turing programs stored in molecules that "specify" and "control" the phenotype as the output of algorithms (Dennett 1995)."	Aborda genes como programas/algoritmos	b) informação genética
2012	BP17U14	"Such conundrums and objections evaporate once the notion that genes are information is seen to be a metaphor , or at best a useful way of representing our knowledge of genes so that the analytic techniques of information theory and statistical algorithms can be used to model and understand that knowledge."	Resolve inconsistências teóricas ao apontar que a noção de gene como informação é uma metáfora que tem utilidade na prática científica	b) informação genética
2012	BP17U16	"What if genes were conceived to be just molecules , with only physical (that is, thermodynamic) properties like any other molecules involved in the biotic process (Waters 2000)?"	Propõe abordarmos o DNA apenas como moléculas	b) informação genética

2012	BP17U17	"Every textbook says that Weismann proved that information from the individual body (the soma) is not passed back into the heritable material (the germ)."	Define o sentido de transmissão da informação a partir de Weismann	b) informação genética
2012	BP17U18	"Weismann's famous diagram (Fig. 2) led to the obvious conclusion that germ cells carried the information that natural selection sorted in the soma."	Descreve o conteúdo da informação como um produto da seleção natural	b) informação genética
2012	BP17U19	"It became natural to say, after 1965 when the standard genetic code had been worked out, that the variation that selection (and drift etc.) operated on was genetic variation alone, and that information could only be created by natural selection on " errors " in the replication of gamete cell lineages."	Descreve o surgimento de variações a partir de erros	b) informação genética
2012	BP17U20	"In effect, the sine-wave model of evolution implicit in the synthetic view of evolution from the beginning misleads us into thinking that there is a strong continuum of informational form from the genetic level to the phenotypic, level and that there is a direct correlation of the information in the genome with the ecological properties of the phenotype."	Estabelece correlação entre o domínio informacional do genótipo ao fenótipo	b) informação genética
2012	BP17U21	"Lewontin instead treats information and phenotypic function as partitioned domains, as sets of independent variables that have no necessary direct correlation ."	Separa o domínio da informação e o domínio fenotípico	b) informação genética
2012	BP17U22	" There is no "locus of information" in this case, nor any real sense of cybernetic control ("governance" is meant in the sense of a rate governor on a steam engine, as a process limiter)."	Explica a evolução dos genes sem mobilizar conceitos informacionais	b) informação genética
2012	BP17U23	"It is a view very reminiscent of the philosophy of mind doctrine of substance dualism , where immaterial thoughts influence the behaviour of physical organs in mysterious ways."	Resgata uma concepção dualista de domínio informacional e material	b) informação genética
2012	BP17U24	"But in a properly scientific model, the presumption must be that causes are physical chains, and so the informational properties of replicators must lie in their physical properties —structure, thermodynamic capacities, electronic charge, mechanical effects, and so on."	Indica que a existência de uma dimensão informacional está intimamente associada à dimensão material	b) informação genética
2012	BP17U25	"Although metazoan evolution might occupy a certain region of high information content for genes correlating closely with a high phenotypic efficiency, the Weismannian notion of the sequestration of the germ line and its heirs do not exhaust the possibilities for all organisms."	Indica que os genes contêm informação	b) informação genética
2012	BP17U26	"Information" resides in the causal symmetry of structure between tokens of a system at t and derived tokens at t + n."	Descreve informação em termos de simetria causal	b) informação genética
2013	BP18U02	"As is well known, the theory identifies three steps in the hereditary process: replication of DNA, 'transcription'—relating to the transfer of information during the making of an RNA molecule off a DNA template—and 'translation'—relating to the transfer of information from RNA to amino acids during protein synthesis."	Descreve a hereditariedade em termos de transmissão de informação entre moléculas	b) informação genética

2013	BP18U03	"The discovery of proteins that, acting as molecular chaperones, provide information relevant to all steps of the hereditary process is a case in point showing, as it does, that the nucleic acids are not the sole repositories of all the information required for maintaining and reproducing life, as the information theory of heredity—to which the neo-Darwinians firmly adhere—states."	Concebe o DNA e as proteínas chaperonas como repositórios de informação	b) informação genética
2013	BP18U04	"Recall that the information theory of heredity stated not just that “the specificity of a piece of nucleic acid is expressed solely by the sequence of its bases, and this sequence is a (simple) code for the amino acid sequence of a particular protein” (Crick 1958, p. 152)"	Enfatiza as propriedades sequenciais do DNA como constituintes da informação	b) informação genética
2013	BP18U05	"[...] that the primary structure of newly synthesised proteins would fully determine their tertiary structure and produce their functional conformation."	Aponta que a teoria da informação hereditária atribui à estrutura primária a determinação da estrutura terciária	b) informação genética
2013	BP18U06	"[...] ‘no genetic information other than that present in the amino acid sequence of the protein is required’ for the synthesis of functional proteins and that “the active (“native”) configuration is the thermodynamically most favoured” (Epstein et al. 1963, p. 439 and 441)."	Aponta que a hipótese mais simples para explicar a estrutura tridimensional é aquela da mais estável em termos de termodinâmica	b) informação genética
2013	BP18U07	"The view was advanced that the one-dimensional information provided by the amino acid sequence of the newly synthesized proteins was not sufficient to ensure folding into the functional conformation, which, in fact, would require specific conditions in the physiological environment including cofactors and catalysts (Pelham 1986), or proteins acting as molecular chaperones (Ellis 1987)."	Indica que a sequência de aminoácidos não contém toda a informação necessária para determinar a estrutura tridimensional da proteína	b) informação genética
2013	BP18U08	"It was, I claim here, the close association between the self-assembly mechanism and the overwhelming influence exerted by the information theory of heredity."	Acusa a teoria da informação hereditária de causar viés nas explicações da estrutura tridimensional das proteínas	b) informação genética
2013	BP18U09	"Summing up, while the information theory of heredity, which is subsumed in the claim “ the gene gives orders . The protein executes them” (Jacob 1970, p. 243) [...]"	Aponta que a teoria da informação hereditária concebe os genes como instruções	b) informação genética
2013	BP18U13	"Having noted that while it is true that genes code for the amino-acid sequence (primary structure) of proteins, this is all they code for, but that “genetic coding is one part of a huge range of causal stories” and that “the role of coding stops once each protein is produced...after that, it is up to the proteins to do whatever they can do” (Godfrey-Smith 2000a, pp. 35–42)"	Limita o alcance das propriedades do código ao nível da sequência de aminoácidos das proteínas	b) informação genética
2013	BP18U15	"“DNA sequences specify protein sequences in a way that the latter do not specify the former ” (Sarkar 2000, p. 211)."	Aponta para o único sentido possível do código genético no dogma central da biologia molecular	b) informação genética
2013	BP18U17	"[...] a difference of so many orders of magnitude indicates a correction mechanism regulating the transmission/elimination of mutations on DNA to be at play in vivo."	Descreve o papel do erro nas mutações	b) informação genética

2013	BP18U18	"Information stored in genomic sequences can only achieve functional expression through interaction of DNA with other cellular information systems " (Shapiro 2002, pp. 112–113)."	Expressa que o genoma precisa interagir com outros sistemas de informação	b) informação genética
2013	BP18U19	"On the basis of the evidence presented here, one may say that two kinds of information relevant to the hereditary process exist: one relating to structure, the other to shape."	Conclui que o conteúdo da informação genética consiste na estrutura das proteínas	b) informação genética
2013	BP20U03	"Bergstrom and Rosvall often write about genes or DNA, observing that "[in] biology genetic transmission occurs vertically (from parent to offspring to grand offspring)."	Situa a transmissão da informação em um eixo evolutivo	b) informação genética
2014	BP21U11	"A DNA sequence contains information that acquires meaning when the sequence is interrogated for answers to particular questions."	Diferencia informação de significado	b) informação genética
2014	BP21U15	" Meaning is extracted from the same DNA sequence, represented as an RNA message, when a ribosome incorporates valine rather than glutamate into a b-globin chain."	Indica que o interpretante pode ser o ribossomo	b) informação genética
2014	BP21U21	"Life is made meaningful by a multitude of mindless interpreters reinterpreting the molecular metaphors of other mindless interpreters."	Indica que a interpretação das metáforas moleculares pode acontecer na ausência da mente	b) informação genética
2014	BP21U22	"The environment chooses phenotypes and thereby chooses genes that represent its choices and embody information about the environment's criteria of choice ."	Explica que as escolhas do ambiente são corporificadas na informação genética	b) informação genética
2014	BP21U23	"The choices of the environment are not themselves messages, but genes that represent these choices are copied and passed as messages from one generation to the next (Bergstrom and Rosvall 2011)."	Indica que a informação é transmitida entre gerações	b) informação genética
2014	BP21U25	"Organisms and their lowerlevel parts are senders and interpreters of these texts ."	Descreve a metáfora em termos de comunicação	b) informação genética
2014	BP21U26	"Mutation degrades semantic information about past choices but adds entropy for future reasoned choice."	Indica que a informação sobre a sobrevivência em ambientes passados é semântica	b) informação genética
2014	BP21U27	"One might say that gene selectionism addresses the writing [...]"	Inferi que o selecionismo genético é responsável pela escrita da mensagem	b) informação genética
2014	BP21U28	"This information is potentially about the relation between cause and effect [...]"	Indica que o conteúdo da informação é sobre causa e efeito	b) informação genética
2014	BP21U29	"[...] and developmental systems theory the reading, of a text."	Inferi que a teoria dos sistemas de desenvolvimento é responsável pela leitura da mensagem	b) informação genética
2014	BP21U30	"[...] <i>use</i> of the information requires an interpreter that has either been designed or evolved for that end."	Indica que o uso da informação requer um interpretante que tem aquela finalidade	b) informação genética

2014	BP21U33	"The RNA polymerase receives its instructions from a DNA sequence in which every base conveys actionable information"	Aponta o conteúdo imperativo da informação genética	b) informação genética
2014	BP21U34	"Once transcription is initiated, and until it terminates, RNA polymerase always interprets A, C, G, or T as U, G, C, or A regardless of the context of surrounding bases."	Exemplifica a interpretação da RNA polimerase de forma independente de contexto	b) informação genética
2014	BP21U35	" Meaning resides in the interpretation."	Inferir que o significado existe apenas ao nível da interpretação	b) informação genética
2014	BP21U36	"They are more sophisticated interpreters than RNA polymerases because the meaning of bases for ribosomes is determined by context ."	Indica uma situação em que a leitura da mensagem é dependente de contexto	b) informação genética
2014	BP21U37	" Falsehood can arise from misinformation by an author or misinterpretation by a reader."	Aceita que podem existir interpretações equivocadas	b) informação genética
2014	BP21U38	" Natural selection among variant texts chooses those that are useful and discards the rest."	Aponta como a seleção natural seleciona determinados textos	b) informação genética
2014	BP21U41	"An idea is the semantic equivalent of a non-recombining segment of DNA."	Estabelece uma analogia entre ideia e um segmento de DNA	b) informação genética
2014	BP21U42	"The purposeful behavior of these interpreters can be explained as the outcome of selective processes that incorporated information about what worked in past environments into the fine structure of information-carrying molecules."	Descreve o conteúdo da informação genética em termos de sucesso reprodutivo	b) informação genética
2014	BP21U43	"Semantic information comes from the environment via subset selection and refers to that environment."	Conclui que a informação semântica é produto de seleção natural	b) informação genética
2014	BP22U02	"Hence, it is denied that genes have a unique “controlling” or “informative” role, that they bear “representations of” traits or organisms , that they constitute the “essence” of an organism or a “potential” that is to be actualized (Oyama 2001; Cf. Oyama 2000)."	Apresenta o posicionamento dos desenvolvimentistas que rejeitam a atribuição de papel especial ao DNA	b) informação genética
2014	BP22U03	"This is what is labelled the “no dichotomies”-view in Stegmann (2012b), but the latter is spelt out as a specific claim of parity with regard to the status of genes as “ information carriers, replicators and controllers ”, and has “informational parity” as a special instance."	Apresenta a discussão da paridade informacional em que os genes são carregadores, replicadores e controladores de informação	b) informação genética
2014	BP22U04	"A “computer version” might even bring in a genetic program that contains at least some “traitunculi” in its code-script"	Apresenta a proposta de interpretar o genoma como um programa de computador	b) informação genética
2014	BP22U05	"If it is claimed that there are genetic instructions and a genetic program for such regulation , that would suggest that genes are categorically different in their regulatory role ."	Apresenta a proposta do controle genético a partir do papel regulatório	b) informação genética

2014	BP22U06	"The fact that it is highly problematic to speak of genes as coding for phenotypic properties in general might be taken by developmentalists as sufficient justification for a thesis of radical parity in specifying role."	Apresenta o argumento dos desenvolvimentalistas de que os genes não codificam fenótipos	b) informação genética
2014	BP22U07	"The best defence of radical primacy in terms of either regulation or specification might lie in an informational role for genes."	Indica que o papel informacional dos genes justificar sua primazia causal	b) informação genética
2014	BP22U08	"[...] the notion of causal information is widely taken to be symmetrical between genetic and environmental factors, which can both be said to carry such information [...]"	Aponta que a informação causal é simétrica no que diz respeito à causação entre genótipo e ambiente	b) informação genética
2014	BP22U09	"By way of such information, genes might be conceived of as being in control of an organism as well as containing specifications of its traits."	Aponta que a informação intencional coloca os genes no controle da causação	b) informação genética
2014	BP22U10	"The special case of a correspondence between two combinatorial codes, like the mapping between the DNA and RNA bases as well as the mapping between RNA base triplets and amino acid residues, is what I shall dub a structuring code ."	Apresenta o código genético como um código estrutural	b) informação genética
2014	BP22U11	"Whenever we speak of a genetic code for proteins, we should bear in mind that it is just a code between the digital structure of DNA or RNA on the one hand and the digital structure of proteins on the other [...]"	Limita o código à dimensão digital da estrutura molecular	b) informação genética
2014	BP22U12	"It remains a fact, though, that only DNA, and derivatively RNA, has first order sequence-structuring roles and powers."	Inferir que apenas o DNA tem a propriedade de determinação estrutural a partir da sequência	b) informação genética
2014	BP22U13	"Molecular templates based on a first order structuring code are always arbitrary , either in the weak sense that the coding principle they are based on could have been different"	Aponta para a arbitrariedade do código genético	b) informação genética
2014	BP22U15	" Protein synthesis , on the other hand, is a process where there is flow of mechanistic information from initial DNA to amino acid sequence in a protein precursor."	Ilustra o fluxo de informação do DNA à proteína	b) informação genética
2014	BP22U16	"Structural mechanistic information is thereby transmitted through fixed reading frames and sequence-specifying stretches of the initial pattern that are indeed “replicated” and therefore constant across protein isoforms."	Aponta que a informação flui por meio das propriedades sequenciais	b) informação genética
2014	BP22U17	"After all, even regulation may take place by way of mechanistic information, as in signalling."	Associa a informação mecanicista com a regulação	b) informação genética
2014	BP22U18	"Development itself is not controlled by these genes, though, but by the system of interacting components ."	Equaliza os genes e demais causas no desenvolvimento	b) informação genética
2014	BP22U19	"Against this, it may be objected that sequential arrangements are characteristic of the encoding and encoded code-script of a structuring code as such, and do not indicate that we are dealing with instructions."	Rejeita que as propriedades sequenciais justifiquem a existência de um conteúdo imperativo	b) informação genética

2014	BP22U20	"Indeed, we do not need to speak of a program at all , and thus neither of instructions to be executed nor of data to be read and written, since it is not necessary to bring in semantic information."	Rejeita a informação semântica de Stegmann que se fundamenta em conteúdo imperativos e na noção de programa	b) informação genética
2014	BP22U21	"[...] a categorical difference between genes and non-genes is manifest even on the first occurrence of a gene in a line of descent, and this difference therefore cannot lie in the historical property of having been selected for ."	Rejeita a proposta de informação semântica de Shea pautada na seleção natural	b) informação genética
2014	BP22U22	"The mapping of mutations in the genetic code-script onto chains of amino acid residues by way of transmission of structural information is therefore the basis of inheritance of variations of a very wide scope, and thereby for much of the diversity on which natural selection acts ."	Indica que informação estrutural é a base dos sistemas de herança	b) informação genética
2014	BP23U23	"Gene sequences therefore play the part of the information carrying cue that affects phenotypes via the machinery of gene expression."	Exemplifica que a sequência do DNA pode carregar informação	b) informação genética
2014	BP23U26	"Shea (2007, 2012a, b) offers a formal account of how DNA can be said to carry representational content ."	Apresenta a definição de informação representacional	b) informação genética
2014	BP23U27	"The conditions for representation that are met by DNA, he says, are that genes constitute a range of intermediates linking environments with phenotypes, thereby adopting both input and output conditions that qualify as standards of “correctness” ."	Aponta para "correção" como um dos critérios da informação representacional	b) informação genética
2014	BP23U28	"Representations are the product of selection under Shea's account, so any symmetry between genetic and environmental information is less obvious when the former is couched in a sense that requires a selective history."	Critica a teoria de Shea a respeito da representação exigir seleção natural	b) informação genética
2014	BP24U02	"The extension of the concept of information, and other related concepts (e.g., representation), to genes remains controversial ."	Relata a controvérsia existente ao redor dos conceitos informacionais	b) informação genética
2014	BP24U03	"Among those biologists and philosophers who embrace the idea that genes carry information"	Menciona que alguns biólogos apontam que os genes carregam informação	b) informação genética
2014	BP24U04	"[...] many would also want to say that (at least some) genes not only carry information about which proteins to make , but also about the conditions in which to make them."	Indica o caráter imperativo do conteúdo da informação genética	b) informação genética
2014	BP24U05	"For this reason, the genome is often described as containing a program that is read by the cell during development."	Relata a descrição do genoma em termos de programa	b) informação genética
2014	BP24U06	"In addition, the existence of such a program tends to be conflated with a number of distinct ideas from which it should be kept separate, such as that genes play some kind of privileged role in development, that genes code for wholeorganism traits, and so forth."	Relaciona a abordagem de programa genético com genocentrismo	b) informação genética

2014	BP24U07	"“each gene acts like a single line in a computer program ,” realizing an “IF that controls when [the] gene will be expressed,” and a “THEN that says what protein it will build if it is expressed” (p. 60-1)."	Descreve o comportamento dos genes em termos de programação	b) informação genética
2014	BP24U08	"Briefly put, Marcus suggests that since genes both code for proteins and control their own expression conditions"	Menciona a relação de código presente no DNA	b) informação genética
2014	BP24U10	"A crucial discovery to come out of modern molecular biology is that virtually all genes have two functional parts, one that codes for a protein [...]"	Indica que uma parte do gene codifica uma proteína	b) informação genética
2014	BP24U11	"[...] and another that controls the expression of the gene."	Indica que outra parte do gene controla a sua expressão	b) informação genética
2014	BP24U12	"The state of the promoter interacts either directly or indirectly with RNA polymerase molecules inside the cell, determining the rate at which the gene's protein-template is transcribed into RNA."	Descreve o controle da expressão gênica em termos da taxa de transcrição	b) informação genética
2014	BP24U14	"It would be an idealization to characterize gene expression in terms of Boolean functions , given that transcription is a noisy, probabilistic affair"	Considera que descrever a expressão gênica em termos booleanos pode ser problemático	b) informação genética
2014	BP24U15	"In this way, certain genes can control the activation level of other genes, either up- or down-regulating them."	Ilustra a rede de regulação em que os genes estão integrados	b) informação genética
2014	BP24U16	"Although the program description may seem like a natural fit in light of the foregoing, I think it is ultimately misleading and should probably be abandoned."	Defende que a abordagem de programa deveria ser abandonada	b) informação genética
2014	BP24U18	"Instead, the cell must simply be understood as retrieving and executing every one of these instructions simultaneously or in parallel."	Argumenta contra a abordagem de programa no genoma, afirmando que não há ordem na célula	b) informação genética
2014	BP24U20	"However, unlike computer memory , this order does not appear to be causally efficacious in its own right, precisely because each instruction is simultaneously accessed and carried out by the cell."	Argumenta contra a abordagem de programa no genoma, afirmando que não há linearidade na leitura do genoma	b) informação genética
2014	BP24U22	"Admittedly, the term ‘read’ is an informal one , and a bit vague."	Afirma que não existe um leitor no ambiente celular	b) informação genética
2014	BP24U23	"But there is no such mechanism inside cells. What we instead find is a highly complex set of interactions between the DNA sequences of promoters, proteins, and RNA polymerase that cannot be neatly described as part of an “encoded instruction” that is passed down the generations."	Nega a existência de um leitor no ambiente celular e descreve os fenômenos em termos de interações moleculares	b) informação genética

2014	BP24U25	"To ignore these biochemical details and continue to talk of a program encoded in our genes would, I think, be to engage in the very kind of metaphorical talk that is often criticized by those biologists and philosophers who are skeptical of the notion of genetic information in general."	Indica que usar a linguagem de programa para descrever o genoma é fazer um uso metafórico da linguagem	b) informação genética
2014	BP24U27	"There is reason then to think that talk of genes carrying information about the conditions in which to make various proteins is misguided ."	Rejeita a concepção de que genes carregam uma mensagem	b) informação genética
2014	BP24U43	"On their view, genetic inheritance is just one specific “ channel ” for communicating information between generations."	Cita Jablonka e Lamb que também concebem os genes como um possível sistema de transmissão de informação	b) informação genética
2014	BP24U44	"Nicholas Shea has also developed a similar view but adds to the above picture the idea that proper inheritance systems are distinguished from other means of bringing about parent-offspring similarity by the sending of signals with genuine semantic content (i.e., signals with correctness and/or satisfaction conditions) (Shea 2007, forthcoming)."	Cita a concepção de que a informação transmitida tem um conteúdo semântico	b) informação genética
2015	BP25U01	"[...] there is a specified, template-based instance of symbolic translation that stems from the transcribed gene to the causally downstream translated protein."	Menciona uma dimensão simbólica presente na síntese de proteínas	b) informação genética
2015	BP25U02	"[...] each particular deoxyribonucleic macro-molecule whose collection of codons “ code for ” the amino-acid sequence of a particular protein realises a particular dispositional property that is picked-out (primarily) with reference to its manifestation state—i.e. the polypeptide chain/protein that it produces/specifies/“codes” for."	Menciona o código ao descrever o papel primordial do DNA na síntese de proteínas	b) informação genética
2015	BP25U06	"Some have been representational theories, where “containing information” about an effect entails containing semantic content about that effect [...]"	Apresenta a teoria semântica da informação	b) informação genética
2015	BP25U07	"[...] content that is typically taken to be imbued by evolutionary selection contingencies—these are the so-called ‘ teleosemantic ’ accounts of information."	Apresenta a teoria teleossemântica da informação	b) informação genética
2015	BP25U08	"There have also been a variety of non-representational theories, where the informational content of the genome is taken to be either “ instructional ”"	Apresenta concepções de informação que a concebem como instruções	b) informação genética
2016	BP26U01	"Of course, this is not a new idea: Johannsen (1911) considered that the phenotype was generated by “reactions of the genotypical constituent”, though the genotypic information remained constant, unchanged by the conditions that its parents were exposed to."	Indica que a informação genotípica permanece constante ao longo das gerações	b) informação genética
2016	BP26U05	"[...] and information in genes (in the sense that genes can be said to embody messages in the classic, information-theory sense)."	Menciona informação genética como a mensagem contida nos genes	b) informação genética

2016	BP26U06	"[...] arguing that in most usages, the use of the word ‘information’ to describe the functioning of genetic systems is at best a sloppy metaphor ."	Considera que o uso de conceitos informacionais para descrever uma mensagem nos genes é metafórico	b) informação genética
2016	BP26U07	"[...] only the translation of nucleotide codons to amino acid sequence is truly a transfer of information ."	Considera que a tradução seja uma transferência de informação literal	b) informação genética
2016	BP26U08	"[...] the code written in DNA is a code for a series of amino acids only [...]"	Aponta que existe um código escrito no DNA	b) informação genética
2016	BP26U10	"Perhaps the most critical area where sorting out what we mean by ‘information’ may have significant impact on the way we talk about genes is in evaluating the role of non-genetic forms of inheritance ."	Considera que os conceitos informacionais podem negligenciar fatores não-genéticos que carregam informação	b) informação genética
2016	BP26U11	"[...] but it does receive those instructions in the genome, and it is those instructions that are passed down through the generations."	Sugere que o conteúdo do genoma seja imperativo	b) informação genética
2017	BP27U04	"The information underlying ‘‘innate’’ traits, of course, is supposed to be stored in the genome (Lorenz 1965)."	Afirma que a informação de comportamentos inatos está armazenada no genoma	b) informação genética
2017	BP27U05	"Lorenz (1977: 22–23) explicitly states that he is referring to information in the semantic , rather than the information theoretical (i.e., correlational), sense."	Afirma que Lorenz refere-se à informação semântica	b) informação genética
2017	BP27U08	"As Millikan (1995: 189) explains, a <i>directive</i> representation ‘has a proper function to guide the mechanisms that use it so that they produce its satisfaction condition.’"	Menciona que o papel diretivo dos genes é imperativo	b) informação genética
2020	BP28U01	"It is common in the biological sciences to describe the genes of an organism as containing information about the whole-organism phenotypes (henceforth ‘phenotypes’) of the organism."	Aponta que normalmente a informação genética é descrita de forma a causar um fenótipo ao nível organizmático	b) informação genética
2020	BP28U02	"The attribution of informational content to genes, and whether it amounts to anything more than a metaphor, continues to feed philosophical disputes ."	Indica que a existência de um conteúdo nos genes é uma questão em debate filosófico	b) informação genética
2020	BP28U05	"The interesting question is whether genes contain semantic i.e., representational information about phenotypes, such that the information can be either correct or incorrect ."	Aponta para a questão da informação semântica poder ser correta ou incorreta	b) informação genética
2020	BP28U06	"According to teleosemantic accounts of genetic information, a gene carries representational information about a phenotype insofar as the gene has been naturally selected for, and thus has the function of, causing the phenotype."	Descreve a informação teleossemântica como um produto de seleção natural	b) informação genética
2020	BP28U07	"I will use Shea’s elaboration of this idea to show that genes do not satisfy the criteria implied by the teleosemantic framework for genes to represent naturally selected phenotypes."	Refuta a proposta da informação teleossemântica de Nicolas Shea	b) informação genética

2020	BP28U09	"Shea argues that, according to the criteria of this combined theory, a gene has a content that represents the following two things; first, the phenotypes that it was selected for causing; second, the environmental conditions that made these phenotypes adaptive during the selection episode ."	Apresenta o conteúdo representativo dos genes de acordo com a abordagem teleossemântica	b) informação genética
2020	BP28U10	"Although teleosemantics is first and foremost a theory about what individuates the content of a representational state, the theory comes bound up with a common naturalistic view about what makes something a representational state at all."	Aponta que a abordagem teleossemântica propõe-se a elencar os critérios para considerar algo um estado representativo	b) informação genética
2020	BP28U11	"[...] a consumer system which acts on these tokens, producing a different type of behaviour in response to each type on which it acts. Often there is also a producer system [...]"	Descreve o sistema de representação em termos de produtores e consumidores	b) informação genética
2020	BP28U12	"To be a representational vehicle is to be employed as an environment-sensitive state in a system so described."	Indica que a o veículo representacional é sensível ao ambiente	b) informação genética
2020	BP28U13	"In a system described by BRM, each type of output marked 'behaviour' in Fig. 1) that the consumer system generates in response to a given type of representational vehicle corresponds to a particular success condition."	Demonstra que o sucesso é determinado pela compatibilidade entre a resposta e circunstância do ambiente	b) informação genética
2020	BP28U14	"It is imperative if the function of the state is to covary with the success conditions of a particular type of consumer response by bringing those conditions about."	Indica a situação em que o conteúdo pode ser imperativo	b) informação genética
2020	BP28U15	"The content of a state is indicative if the state's function is to covary with the success conditions of a consumer response that are already in place (e.g., Millikan 1984, p. 99)."	Indica a situação em que o conteúdo pode ser indicativo	b) informação genética
2020	BP28U16	"Describing a system as an implementation of BRM and hence some of its components as vehicles of content is explanatorily fruitful ."	Estabelece a primeira condição para representação em termos de utilidade explanatória	b) informação genética
2020	BP28U17	"The producer, the different types of representational vehicles, the consumer and the different types of consumer output must be individuable as separate entities non-semantically"	Estabelece a segunda condição para representação em termos de individualização dos componentes do sistema de representação	b) informação genética
2020	BP28U18	"Shea's claim that genes represent phenotypes is intended as a realist thesis."	Aponta o posicionamento de que a dimensão representativa dos genes seja realista	b) informação genética
2020	BP28U20	"The selection condition of this consumer output specifically is the content of the vehicle whose function it is to cause the output."	Estabelece a terceira condição para representação em termos de função evolutiva	b) informação genética
2020	BP28U21	"In either case, the hypothesis that molecular genes bear content <E obtains; develop P> would fail to provide a general framework for explaining why adaptive selected phenotypes develop, or sometimes fail to develop, anew in each generation."	Argumenta que a existe de conteúdo nos genes não explica o desenvolvimento do genótipo	b) informação genética

2020	BP28U22	"Therefore, none of these alleles individually was (or need have been) a consistent heritable difference-making cause of P in the context of P's selection ."	Argumenta que a adaptação poligênica é um obstáculo para a seleção de genes individuais	b) informação genética
2020	BP28U23	"There is then no correct representation that can explain why the rest of the phenotypes were adaptive."	Aponta falhas explicativas na adaptação dos fenótipos por meio de representação no genoma	b) informação genética
2020	BP28U25	"The relationship between genes (as understood in accordance with either of the two feasible conceptions of what a gene is) and selected phenotypes does not meet certain core conditions implied by the teleosemantic framework which must be met in order for genes to represent phenotypes."	Conclui que os genes não apresentam todas as condições necessárias para representarem fenótipos	b) informação genética
2008	BP07U01	"As part of the propagating organization within living cells, the cell operates as an information processing unit , receiving information from its environment , propagating that information through complex molecular networks, and using the information stored in its DNA and cell-molecular systems to mount the appropriate response."	Apresenta a célula como um sistema de processamento de informação do ambiente	c) informação ambiental
2008	BP07U27	"We wish to say that the agent confronting yuck or yum receives information “about” yuck or yum ."	Indica que o significado é sobre o ambiente	c) informação ambiental
2008	BP07U28	"The cell, we want to say, has embodied knowledge and know-how with respect to the proper responses to yuck and yum, which was assembled for the agent and its descendants by heritable variation and natural selection."	Conceitua a célula como um sistema interpretativo e produto de seleção natural	c) informação ambiental
2008	BP07U32	"So the yum receptor can be “fooled.” "	Indica a possibilidade de erro	c) informação ambiental
2010	BP09U06	"[...] and their evolutionary “adaptations” can be seen as embodying information about the environment ' (Deacon 2006a, 141–142)."	Indica que a informação está no ambiente, e o DNA a interpreta	c) informação ambiental
2010	BP09U07	"[...] then this artificially evolved ribozyme will be capable of making an interpretation [...]"	Hipotetiza sobre uma molécula de ácido nucleico ser capaz de fazer interpretações	c) informação ambiental
2010	BP09U08	"On this definition, the irreducibility of semiotic phenomena to mechanistic explanation rests on the teleological basis of interpretation."	Relaciona a capacidade de interpretação com teleologia	c) informação ambiental
2010	BP09U09	"We have offered an account of different kinds of misinterpretation [...]"	Admite a possibilidade de interpretações equivocadas	c) informação ambiental
2013	BP18U16	"Yet regarding variations as purely random poses a problem for the evolutionary perspective because it is only if organisms are able to access information about changes in the environment , and select the most appropriate variation among those at their disposal [...]"	Indica que a informação está no ambiente e os organismos devem selecionar respostas a elas	c) informação ambiental
2014	BP23U18	"However, the situation takes on a much more interesting character when we introduce a cue, C, that carries natural information about the state of the environment ."	Aponta que a informação está no ambiente	c) informação ambiental

2014	BP23U19	"In other words, selection would produce organisms that respond adaptively to causes that carry mutual information about selectively relevant states of the environment."	Indica que por meio da seleção natural, sobrevivem os indivíduos que respondem à informação causal de forma adaptativa	c) informação ambiental
2014	BP23U20	"A has an informational role if it is affected by such a cue C, which bears this informational relationship with E "	Define que uma entidade terá papel informacional se for afetado por uma informação correlacional do ambiente	c) informação ambiental
2014	BP23U24	"An outcome can be called “ wrong ” if it is a suboptimal phenotype in the given environment, or if it resulted from some developmental factor failing to perform the action for which it was selected, depending on the kind of answer being sought in a given case."	Discute a possibilidade de erro	c) informação ambiental
2014	BP23U33	"Planer (2013) argues that genes (as structures that vary developmentally in terms of their expression according to cis-regulatory elements, etc.) can be usefully viewed as agents in signalling games."	Menciona a teoria dos genes como jogos de sinalização	c) informação ambiental
2014	BP24U09	"On the view I will develop, genes turn out to be the producers and consumers of regulatory or developmental information , rather than entities encoding such information."	Defende que os genes produzem e consomem a informação	c) informação ambiental
2014	BP24U28	"Only signaling equilibria support perfect or pure information transmission, so it's as if the receiver can directly observe the state of the source and the sender can directly act."	Descreve a transmissão de informação em termos de sinalização	c) informação ambiental
2014	BP24U29	"However, when it is a population of unsophisticated agents (e.g., bacteria) simply evolving by natural selection , the fact that those agents have interests that can be differentially promoted by different combinations of sender and receiver strategies can explain the emergence of information transmission in the absence of reason or foresight."	Fundamenta a intencionalidade dos emissores e receptores por meio da seleção natural	c) informação ambiental
2014	BP24U32	"[...] I simply want to make the case that genes are indeed accurately modeled as agents in signaling games ."	Inferir que os genes são os emissores e receptores que sinalizam	c) informação ambiental
2014	BP24U33	"As regards gene expression and regulation, the most relevant class of variations are those involving multiple senders and receivers, or what Skyrms calls “ networking ”"	Aponta a possibilidade de sinalização em rede	c) informação ambiental
2014	BP24U34	"What these remarks tell us is that the interests of genes are relevant to the emergence and stability of signaling interactions over the course of evolutionary or phylogenetic time "	Indica que o interesse dos genes em interações de sinalização é evidente no tempo evolutivo	c) informação ambiental
2014	BP24U35	"[...] and only indirectly over the course of ontogenetic time "	Indica que o interesse dos genes em interações de sinalização é indireto no tempo ontogenético	c) informação ambiental
2014	BP24U36	"The linguistic label we attach to the protein(s) observed by such a gene (‘state’ vs. ‘signal’) and the protein it produces (‘signal’ vs. ‘act’) will simply vary with the perspective we take on the signaling interaction."	Informa que as nomenclaturas podem variar de acordo com a perspectiva adotada nas interações de sinalização	c) informação ambiental

2014	BP24U37	"By 'input', I simply mean a combination of proteins serving as signals that can be either present or absent at the binding sites along the promoter."	Aponta que a interações de sinalização são uma linguagem metafórica para descrever interações moleculares	c) informação ambiental
2014	BP24U39	"If we are interested in whether some gene receives information about some particular external source "	Considera que a informação vem de uma fonte exterior	c) informação ambiental
2014	BP24U40	"But as we saw above, there is good reason to think that P1's being present at Ga's promoter itself carries information about the state of the cell where Ga is located. "	Exemplifica como a informação sobre o ambiente pode ser transmitida por meio da sinalização em rede	c) informação ambiental
2014	BP24U41	"Accordingly, genes themselves are the readers of this regulatory information, not some entity external to them."	Afirma que os genes são os leitores da informação	c) informação ambiental
2014	BP24U42	"Of course, since genes are the stuff of genetic inheritance , being passed from parent(s) to offspring during reproduction, the process of genetic inheritance thus appears to us as a form of information transmission."	Menciona a facilidade de conceber a herança de genes como transmissão de informação	c) informação ambiental
2014	BP24U45	"On this view, what organisms actually genetically inherit from their biological parent(s) is a rich and diverse network of information processing agents that function to adaptively control development by exchanging signals with one another in real time."	Infere que na perspectiva dos jogos de sinalização o que é transmitido ao longo das gerações são agentes de processamento de informação	c) informação ambiental
2017	BP27U01	"Phylogenetically acquired information is stored in the genome."	Indica que a informação contida no genoma trata-se de dados do ambiente	c) informação ambiental
2017	BP27U02	"The genes correlated with these behaviors proliferated due to natural selection , so the information is "contained in the genome.""	Aponta que a informação contida no genoma sobre o ambiente é obtida por meio da seleção natural	c) informação ambiental
2017	BP27U06	"Using the framework of teleosemantics , Shea (2007) spells out how the genome can carry information by representing the environment."	Utiliza o conceito de teleosemântica	c) informação ambiental
2017	BP27U07	"The representational content of the produced state, or signal , corresponds to what must be the case for the consumer mechanism to perform its proper function(s) in the normal way (Millikan 1989b)."	Descreve o gene em termos de sinalização	c) informação ambiental
2017	BP27U09	"The truth condition of a descriptive representation is the "condition to which it adapts its interpreters or users in the service of their proper functions."	Menciona que o papel descritivo dos genes é sobre o ambiente	c) informação ambiental
2017	BP27U10	"Shea (2013: 2–3) counters that the consumer in question "is not a neat single mechanism, but consists of all the messy, interactive and temporally extended processes of development.""	Aponta uma proposta de Shea para resolver o problema do consumidor do sinal	c) informação ambiental
2017	BP27U11	"Even if epigenetic inheritance were sufficiently high fidelity to accumulate information about the environment in a way analogous to DNA sequences "	Menciona que a informação está armazenada nas sequências do DNA	c) informação ambiental

2007	BP04U27	"To be sure, to a human interpreter , the discrete pattern congruence of the genetic code may still seem to resemble a transparent man-made arrangement, and thus to be semantically significant."	Considera que os genes podem apresentar conteúdo semântico para um ser humano que os interpreta	d) informação científica
2007	BP05U09	"These same constraints mean that specific sequence features can be highly predictive of function."	Associa a sequência com a previsão da função	d) informação científica
2007	BP05U10	"[...] and the amount of information required for a specific phenotype can be measured quantitatively ."	Indica que a informação genética pode ser mensurada quantitativamente	d) informação científica
2007	BP06U09	"It is information in the sense that its presence allows us to work things out."	Apresenta a noção de informação como uma abordagem técnica	d) informação científica
2007	BP06U18	"The capacity of a system to carry different pieces of correlational information is often measured in bits."	Indica a possibilidade de medir quantitativamente a informação em bits	d) informação científica
2007	BP06U20	"Information capacity and correlational information are the two parts of Shannon's theory of communication (Shannon 1949)."	Relaciona a teoria de Shannon com a capacidade de informação e informação correlacional	d) informação científica
2007	BP06U23	"This is to predict the output on the basis of what the filmmaker meant the disk to do."	Associa a possibilidade de previsão do resultado da leitura de uma informação com intencionalidade	d) informação científica
2007	BP06U32	"The genes' representational properties arise because we can identify , in the mechanism of genetic inheritance, three component systems : producers, consumers and intermediate representations."	Indica que a propriedades representacionais emergem a partir de um sistema com produtores, consumidores e intermediários	d) informação científica
2008	BP07U20	"Information is a tool and as such it comes in different forms."	Indica que informação é uma ferramenta	d) informação científica
2008	BP08U17	"[...] her observations about the power of the textual metaphors that pervade even professional genetics are quite tenable but belaboring these caricatures probably does not get us all that far."	Questiona os benefícios das metáforas textuais	d) informação científica
2011	BP10U17	"Sterelny and Griffiths (1999) point out, 'The sender/channel distinction is a fact about our interests , not a fact about the physical world.'"	Indica que a questão da informação depende dos interesses de pesquisa	d) informação científica
2011	BP10U24	"From this foundation in the limits of compression emerges a richly practical theory of coding "	Indica que o ponto central da teoria de Shannon está no código	d) informação científica
2011	BP10U40	" Our aim with the transmission sense of information is not to single out uniquely the genes as having some special property that we deny to all other biological structures , but rather to identify those components of biological systems that have information storage, transmission, and retrieval as their primary function."	Apesar da ênfase na função informacional do DNA, reconhece que outros componentes podem ser transmitidos	d) informação científica
2011	BP10U42	"This language is understandable; indeed, these correlations provide us with information about biological systems."	Explica que as medidas das variáveis biológicas nos fornecem informações sobre os fenômenos	d) informação científica

2011	BP10U43	"In other words, these correlations do not convey teleosemantic information. "	Rejeita que a informação "técnica" seja teleossemântica	d) informação científica
2011	BP10U44	" Nor can these correlations be considered information in the transmission sense. "	Rejeita que a informação "técnica" seja a mesma do sentido de transmissão	d) informação científica
2011	BP10U45	"There is information about the history of selection in the population-level correlations."	Indica como a informação pode ser histórica a partir de dados experimentais	d) informação científica
2011	BP10U46	"A single individual cannot look at its own genome and notice a longer (or shorter) haplotype block around any given focal locus—these haplotype blocks are defined with respect to the genotypes of others in the population."	Explica que a informação histórica está presente no grupo e não em indivíduos	d) informação científica
2011	BP10U47	"The population-level statistics that geneticists use to infer history are informative, but they are not information in the transmission sense."	Indica que a informação histórica é incompatível com a informação no sentido de transmissão	d) informação científica
2011	BP10U48	"They are merely the smoke that is cast off by the fire of natural selection."	Indica que o potencial informativo da informação histórica se dá a partir de uma correlação	d) informação científica
2011	BP10U49	"Indeed, we can study how information is transmitted without having any knowledge of the “codebook” for how to interpret the message, or even what the information represents."	Separa o estudo da forma como a informação é transmitida da forma como ela é codificada	d) informação científica
2011	BP10U50	"When information theorists think about coding, they are not thinking about semantic properties. "	Fundamenta a possibilidade de estudar o código sem usar semântica	d) informação científica
2011	BP11U08	"Fortunately, the conceptual heart of information theory lies not in the telegraph schema, but rather in the fundamental mathematics that describe the mechanics and limits of information transfer."	Enfatiza a abordagem matemática da informação	d) informação científica
2011	BP11U11	" Network information theory—a critical area in designing cellular communication networks, among other applications—addresses how information can move through entire networks of signalers and receivers, and deals with issues such as how interference can be avoided and how intermediaries can effectively relay messages to downstream receivers."	Apresenta um campo de investigação da informação em rede	d) informação científica
2011	BP12U14	" When information theorists think about coding, they are not thinking about semantic properties."	Enfatiza o código em detrimento do conteúdo	d) informação científica
2011	BP12U15	"If there is a measurable reduction of uncertainty going on"	Indica a possibilidade de mensurar informação	d) informação científica
2011	BP13U13	"Bergstrom and Rosvall are distinctive in giving an account that rests solely on engineering considerations that flow directly from Shannon’s (1948) Mathematical Information Theory. "	Menciona a alusão de Bergstrom e Rosvall à teoria de Shannon	d) informação científica

2012	BP15U04	"In this case, knowing whether X is present provides information about Y , and knowing whether Y is present provides information about X."	Apresenta uma abordagem prática de como uma frequência gênica pode fornecer informações sobre outra	d) informação científica
2012	BP16U16	"However, it is important to bear in mind that the similarities are taken to represent the reasons why scientists are drawn to informational descriptions; they are not taken to constitute a kind of information. "	Aponta uma possibilidade de metáfora na linguagem informacional	d) informação científica
2012	BP17U06	"The idea that genes encode proteins and eventually the cellular and organismic structures and processes collectively called the phenotype is generally a useful way to conceive the situation. "	Indica a utilidade do uso do recurso conotativo	d) informação científica
2012	BP17U15	"Such conundrums and objections evaporate once the notion that genes are information is seen to be a metaphor, or at best a useful way of representing our knowledge of genes so that the analytic techniques of information theory and statistical algorithms can be used to model and understand that knowledge. "	Resolve inconsistências teóricas ao apontar que a noção de gene como informação é uma metáfora que tem utilidade na prática científica	d) informação científica
2012	BP17U30	"We consider that much of the discussion about where “information” resides in living systems is really a debate over what to cover by that term."	Problematiza a discussão sobre informação	d) informação científica
2013	BP19U03	"[...] the majority of the information contained in viral genomes is unknown "	Menciona a informação viral genômica em uma abordagem prática	d) informação científica
2013	BP20U07	"Both elaborations of TS are subject to some general difficulties with applying Shannon’s measures in biological contexts (Pfeifer 2007)."	Aponta para dificuldades em aplicar quantitativamente a teoria de Shannon	d) informação científica
2014	BP21U10	"A human genome contains 3.2 gigabases (Gb) with up to two bits of information per base (a choice from four alternatives)."	Apresenta medições quantitativas da informação genética	d) informação científica
2014	BP21U14	"The technician’s end is clinical diagnosis."	Indica que o interpretante pode ser um técnico	d) informação científica
2014	BP21U17	"An effect represents its cause when observation of the effect allows inference about the cause."	Relaciona causa e efeito em termos de representação	d) informação científica
2014	BP23U07	"Shannon information is a statistical measure of the uncertainty in a system"	Define a teoria de Shannon como a medida da redução de incerteza	d) informação científica
2014	BP23U09	"The amount of mutual information between two systems X and Y is defined as the average of the statistical associations between each pair of states"	Oferece uma equação matemática para o cálculo da informação	d) informação científica
2014	BP23U10	"How much information exists between the two is dependent on how much, on average, the probabilities are changed by this observation."	Indica que a quantidade de informação depende da quantidade de mudança	d) informação científica
2014	BP23U29	"But content can be usefully black-boxed in order to analyse quantitative notions such as the carrying capacity of an information storage system or the capacity of an information channel."	Apresenta a proposta da informação transmissiva de analisar o canal da informação	d) informação científica

2014	BP23U35	"The information dealt with in Shannon's theory is a relatively uncontroversial mathematical value , existing prior to, and independently of, any process of selection."	Defende a concepção de Shannon por poder ser usada sem a necessidade de um episódio de seleção natural	d) informação científica
2014	BP23U37	"This is because they embody a more "top-down" approach: selecting a sense of information suited to human communication systems and looking for similar characteristics in lower-level biological processes."	Sugere que as abordagens semânticas sejam metafóricas	d) informação científica
2014	BP23U39	"[...] much of biology is concerned with processes far removed from these emergent phenomena, but for which correlational information is a vital explanatory ingredient ."	Infere que a informação correlacional seja usada em sentido denotativo	d) informação científica
2016	BP26U02	"Some error is technical , for example high-throughput sequencing techniques are error prone, and gene prediction and annotation methods vary greatly in their accuracy (Yandell and Ence 2012)."	Refere-se à informação genética de forma técnica	d) informação científica
2016	BP26U04	"[...] information about genes (in the sense of data to be stored, communicated or manipulated) [...]"	Menciona informação genética como aquilo que sabemos sobre genes	d) informação científica
2016	BP26U12	"The embodiment of the genome in the cell may be in nucleotides, but it is still the genome when written in letters on a page, bands on a gel, or in the flashes of light generated by a pyrosequencing machine ."	Aponta o caráter simbólico da informação	d) informação científica
2016	BP26U15	"But all DNA sequences, functional or not, carry historical information incidentally, as a byproduct of descent with modification."	Afirma que o DNA carrega informação sobre incidentes históricos	d) informação científica
2016	BP26U16	"But they are very interesting to someone like me, who uses DNA primarily as a source of information on evolutionary past and processes."	Afirma que o DNA contém informação sobre o passado evolutivo	d) informação científica
2016	BP26U17	"But it is the historical information in sequences that I study in order to shine light on evolutionary patterns and processes: it matters to me if the atp1 gene in a parasitic plant has actually been derived as a horizontal transfer from its host plant, rather than inherited from its ancestor, even if it functions just the same (Barkman et al. 2007; Nickrent et al. 2004)."	Descreve a informação histórica como um programa de pesquisa	d) informação científica
2016	BP26U19	"While some genetic factors provide relatively little information about phenotypic outcomes, like whether you will get bowel cancer, some sequences provide much more reliable information ."	Indica que as sequências dos genes podem ou não fornecer previsões precisas sobre o fenótipo	d) informação científica
2016	BP26U20	"[...] you can't often predict phenotype from information about the environment without also having the genetic information."	Indica que a informação genética fornece previsões mais confiáveis a respeito do fenótipo quando comparada à informação do ambiente	d) informação científica