

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o
texto completo desta Tese será
disponibilizado somente a partir de
01/04/2023.

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.

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.

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 etiobiology. **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.